

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Vliv zástavby na příjem televizního signálu

**Influence of Buildings on the Reception of
Television Signal**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Vavroš

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Vliv zástavby na příjem televizního signálu
Influence of Buildings on the Reception of Television Signal

Zásady pro vypracování:

1. Popis možností příjmu digitálního televizního vysílání.
2. Teoretický rozbor problematiky šíření televizního signálu v městské zástavbě.
3. Praktické měření kvalitativních parametrů televizního signálu ve vytypovaných oblastech.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

Pechač P., Zvánovec S.: Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů, BEN, 2007, ISBN: 978-80-7300-223-7

Pechač P.: Šíření vln v zástavbě, BEN, 2005, ISBN: 80-7300-186-1


Legíř, M.: Televizní technika DVB-T, BEN, 2006, ISBN: 80-7300-204-3

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

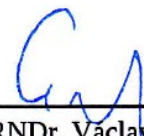
Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry



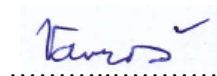


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 1. 5. 2014



Podpis

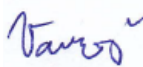
Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Romanovi Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne: 1. 5. 2014


.....

Podpis

Abstrakt

Předmětem této práce je popis a ověření vlivu zástavby na šíření televizního signálu a jeho následný příjem. Nejprve je v této práci uveden popis všech dostupných možností, prostřednictvím kterých je divákovi umožněno přijímat digitální televizní signál. Následuje teoretický popis mechanismů šíření televizního signálu v prostředí zástavby, který je šířen prostřednictvím technologie DVB-T. Podložení teoretických předpokladů je obsaženo v praktické části, kdy bylo provedeno měření hodnot parametrů pozemního televizního signálu ve vytipovaných lokalitách města Ostravy, tam kde byla očekávána zhoršená kvalita televizního příjmu právě díky prostředí husté zástavby.

Klíčová slova

DVB-T; šíření signálu; zástavba; odraz signálu; ohyb signálu; vícecestné šíření; měření parametrů; televizní vysílač; multiplex; přijímací anténa; úroveň přijatého signálu; kvalita příjmu

Abstract

The subject of this thesis is to describe and verify the influence of development on the spreading television signal and its following reception. First, in this work is the description of all available options through which the viewer is able to receive digital television signal. The following is a description of the theoretical mechanisms spread of the television signal in urban environment that is distributed through DVB-T technology. Underpinning theoretical presuppositions is included in the practical part where were measured values of the parameters of terrestrial television signal in identified areas of the city of Ostrava, where the expected deterioration of the quality of television reception thanks to high-density development environment.

Key words

DVB-T; spreading signal; development; reflection of signal; diffraction of signal; multipath propagation; measuring parameters; television transmitter; multiplex; receiving antenna; received signal level; quality of reception

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
a	–	Parametr míry zastínění překážkou
c	m/s	Rychlost světla ve vakuu
C	–	Kódový poměr
d	m	Vzdálenost vysílací a přijímací antény
E	V/m	Elektrická složka elmag. vlny
E_{ef}	V/m	Efektivní hodnota intenzity elektrického pole
E_i	V/m	Intenzita elektrického pole dopadající vlny
E_r	V/m	Intenzita elektrického pole odražené vlny
E_t	V/m	Intenzita elektrického pole pronikající vlny
f	Hz	Frekvence
$FDL(d)$	dB	Ztráty volným prostorem
G_p	–, dB	Zisk přijímací antény
G_v	–, dB	Zisk vysílací antény
H	T	Magnetická složka elmag. vlny
K	–	Riceův faktor
k_i	–	Vlnový vektor dopadající vlny
k_r	–	Vlnový vektor odražené vlny
k_s	–	Vektor ve směru rozptýlené vlny
k_t	–	Vlnový vektor lomené vlny
L	dB	Ztráty šířením v daném prostředí
$L_C(p,t)$	dB	Celkové ztráty šířením v místě p a čase t
L_p	dB	Střední hodnota ztrát daná pozicí antény p
n	–	Index lomu
N_e	–	Počet odrazů
P_p	W	Výkon přijatý přijímací anténou

P_s	W	Rozptýlený výkon
P_V	W, dBm	Výkon na vstupu vysílací antény
R	–	Koeficient odrazu
T	–	Koeficient postupu
T_s	μs	Symbol
T_u	μs	Užitečná data
v	m/s	Fázová rychlost šíření vlny
w_i	W/m ²	Plošná hustota výkonu dopadající vlny
$X(t)$	dB	Časově proměnná složka ztrát
Z	Ω	Vlnová impedance daného prostředí
Δ	μs	Ochranný interval
ε	F/m	Permitivita
ε_{kr}	F/m	Komplexní relativní permitivita
ε_r	F/m	Relativní permitivita
Θ_i	°	Úhel dopadu
Θ_{ci}	°	Fázový posun způsobený cestou
Θ_r	°	Úhel odrazu
Θ_t	°	Úhel lomu
λ	m	Vlnová délka
μ	H/m	Permeabilita
ρ_0	dB	Zisk přímé cesty signálu
ρ_i	dB	Zisk cesty signálu s odrazy
σ	S/m	Vodivost
τ_i	s	Doba zpoždění v cestě
φ	°	Úhel od roviny rozhraní

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Asymetrická digitální účastnická linka
AWGN	Additive white Gaussian noise	Aditivní bílý Gaussovský šum
BER	Bit Error Ratio	Bitová chybovost
C/N	Carrier/Noise	Poměr užitečného signálu k šumu
CBER	Channel Bit Error Rate	Bitová chybovost před Viterbiho dekodérem
D/A	Digital/Analog	Digitálně/analogový
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer	Digitální multiplexer účastnické linky
DVB	Digital Video Broadcasting	Digitální televizní vysílání
DVB-C	Digital Video Broadcasting- Cable	Digitální kabelové vysílání
DVB-S	Digital Video Broadcasting- Satellite	Digitální satelitní vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial	Digitální pozemní vysílání
FEC	Forward Error Correction	Kódování s dopřednou korekcí chyb
GPS	Global Position System	Globální poziční systém
HDTV	High-Definition Television	Vysoké rozlišení obrazu
HFC	Hybrid Fiber Coax	Hybridní technologie používající optická vlákna a koaxiální kabely
IGMP	Internet Group Management Protokol	Protokol IGMP
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
IPTV	Internet Protocol Television	Digitální vysílání IPTV
JV	Southeast	Jihovýchodní
JZ	Southwest	Jihozápadní
LAT	Latitude	Zeměpisná šířka
LDTV	Low-Definition Television	Nízké rozlišení obrazu
LNB	Low Noise Block	Konvertor pro příjem satelitního televizního vysílání

LON	Longitude	Zeměpisná délka
MER	Modulation Error Ratio	Modulační chybovost
MIP	Mega Initialization Packet	Časová synchronizační značka
MPEG	Moving Picture Experts Group	Digitální kompresní algoritmus
MUX	Multiplex	Multiplex
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex	Ortogonální frekvenčně dělený multiplex
QAM	Quadrature amplitude modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QEF	Quasi Error Free	Zdánlivě bezchybný příjem
QPSK	Quadrature phase-shift keying	Kvadrurní klíčování fázovým posuvem
RTSP	Real Time Streaming Protocol	Streamovací protokol pracující v reálném čase
SDTV	Standard-Definition Television	Standardní rozlišení obrazu
SFN	Single Frequency Networks	Jednofrekvenční síť
SV	Northeastern	Severovýchodní
SZ	Northwest	Severozápadní
TS	Transport Stream	Transportní tok
TV	Television	Televize
UHF	Ultra High Frequency	Ultra krátké vlny
VBER	Viterbi Bit Error Rate	Bitová chybovost za Viterbiho dekodérem
VDSL	Very High Speed DSL	Vysokorychlostní přípojka DSL
VoD	Video on Demand	Video na přání
VŠB-TUO	VŠB-Technical University of Ostrava	VŠB-Technická univerzita Ostrava

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Popis možností příjmu digitálního televizního vysílání.....	2
2.1	Standard DVB	2
2.2	Pozemní digitální televizní vysílání DVB-T	3
2.2.1	Modulace OFDM.....	4
2.2.2	Jednofrekvenční síť	6
2.2.3	Ochranný interval	7
2.2.4	Příjem pozemního digitálního vysílání.....	8
2.3	Satelitní digitální televizní vysílání DVB-S	8
2.4	Kabelové digitální televizní vysílání DVB-C.....	9
2.5	Digitální televizní vysílání IPTV.....	10
3	Teoretický rozbor problematiky šíření televizního signálu v městské zástavbě	13
3.1	Šíření vln v pásmu UHF	13
3.2	Mechanismy šíření signálu v zástavbě	15
3.2.1	Odraz a lom	17
3.2.2	Ohyb	21
3.2.3	Rozptyl	23
3.3	Vícecestné šíření signálu	24
3.4	Úniky	25
3.5	Vliv polarizace na šíření signálu v zástavbě.....	26
3.6	Teoretické přenosové kanály pozemní digitální televize	27
3.6.1	Gaussův kanál.....	27
3.6.2	Riceův kanál	27
3.6.3	Rayleighův kanál	28
3.6.4	Vliv přenosového kanálu na chybovost příjmu	29
3.7	Problému příjmu signálu DVB-T ve výškových budovách.....	30

4	Příprava před praktickým měřením parametrů televizního signálu	32
4.1	Vysílače DVB-T pokrývající území města Ostravy	32
4.1.1	Vysílač Hošťálkovice	32
4.1.2	Vysílač Hladnov	33
4.1.3	Vysílač Lanová	33
4.1.4	Vysílač Lysá hora	34
4.1.5	Vysílač Klimkovice	34
4.2	Dostupné multiplexy	35
4.3	Měření signálu DVB-T – legislativa	36
4.4	Parametry pro posouzení kvality přijatého signálu	36
4.4.1	Přijímací úroveň	36
4.4.2	Modulační chybovost – MER.....	37
4.4.3	Bitová chybovost – BER	37
4.4.4	Subjektivního hodnocení kvality (Qfactor)	37
5	Praktické měření kvalitativních parametrů televizního signálu ve vytipovaných oblastech.....	38
5.1	Metodika měření.....	38
5.2	Měření v lokalitě Ostrava-Poruba	39
5.2.1	Přesné umístění měřících míst.....	39
5.2.2	Hodnoty naměřených parametrů	41
5.2.3	Srovnání naměřených výsledků v roce 2013 s měřením v roce 2009	46
5.3	Měření z výškové budovy kolejí VŠB-TUO	48
5.3.1	Hodnoty naměřených parametrů	50
5.3.2	Srovnání naměřených výsledků v roce 2014 s měřením v roce 2009	52
5.4	Měření v lokalitách Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice.....	53
5.4.1	Přesné umístění měřících míst.....	53
5.4.2	Hodnoty naměřených parametrů	55
5.5	Měření s pokojovou anténou	57
5.5.1	Hodnoty naměřených parametrů – lokalita Moravská Ostrava	59

5.5.2	Hodnoty naměřených parametrů – lokalita Ostrava-Dubina	61
6	Vyhodnocení naměřených výsledků	64
6.1	Měření v lokalitě Ostrava-Poruba	64
6.2	Měření z výškové budovy kolejí VŠB-TUO	65
6.3	Měření v lokalitě Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice	65
6.4	Měření s pokojovou anténou	66
6.5	Doporučení vyplývající z měření	66
7	Závěr	68
	Použitá literatura	70
	Seznam příloh.....	i
	Přílohy	ii

1 Úvod

Na začátku této diplomové práce je uveden souhrn všech nynějších možností příjmu digitálního televizního vysílání na území České Republiky. V určitých místech příjmu si je možné zvolit jednu ze všech dostupných možností příjmu, ať už podle potřebných zařízení k příjmu digitálního televizního signálu a složitosti jejich instalace nebo podle množství a kvality přijímaných televizních programů a služeb. Ale existují i místa, ve kterých jsou omezené možnosti příjmu televizního signálu a nezbývá než použít pouze konkrétní dostupný způsob příjmu. Hlavní zaměření této práce je na technologii příjmu prostřednictvím DVB-T.

Další kapitola (*Kapitola 3*) popisuje vlivy a způsoby šíření signálu v pásmu ultrakrátkých vln (ve kterém je vysíláno pozemní digitální televizní vysílání) v prostředí městské zástavby. Jsou zde popsány všechny mechanismy šíření, jako jsou odraz, lom, ohyb a rozptyl vln a s těmito vlivy spojené vícestné šíření signálu, působící na pozemní digitální televizní signál. Při vícestném šíření signálu dochází k takzvaným únikům signálu, které jsou v této kapitole rovněž popsány. Dále je zde uveden vliv použité vysílací polarizace na šíření signálu v prostředí zástavby a také jsou zde popsány teoretické přenosové kanály, kterými se může šířit televizní signál v prostředí zástavby.

V kapitole čtvrté zabývající se přípravou před praktickým měřením kvalitativních parametrů DVB-T ve vytipovaných oblastech, jsou nejprve popsány televizní vysílače pokrývající území města Ostravy a dostupné multiplexy vysílané těmito vysílači. Dále jsou zde popsány parametry, podle kterých se určuje kvalita přijatého televizního signálu, uvedené ve vyhlášce o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání, která byla při měřeních dodržována.

Pátá kapitola je věnována praktickému měření pozemního digitálního vysílání ve vytipovaných oblastech, kde jsou popsány a hodnoceny naměřené hodnoty parametrů televizního signálu. Parametry signálu DVB-T byly většinou měřeny na místech u rodinných domů, které se vyskytovali ve stínu vysokých výškových budov, ale byla provedena i měření přímo v některých výškových budovách. Celkové vyhodnocení každého z měření je popsáno v samostatné kapitole, kapitole šesté.

Shrnutí celé této práce a posouzení vlivu zástavby působícího na digitální televizní signál šířící se v prostředí s hustou městskou zástavbou je popsáno v závěru diplomové práce.

2 Popis možností příjmu digitálního televizního vysílání

Tato kapitola popisuje výčet možností, pomocí kterých je v dnešní době možno dopravit digitální televizní signál až k televiznímu přijímači diváka. Každá technologie příjmu je také ve zkratce popsána a jsou uvedeny její výhody a nevýhody. Nejdříve je však zapotřebí vymezit pojem digitálního televizního vysílání.

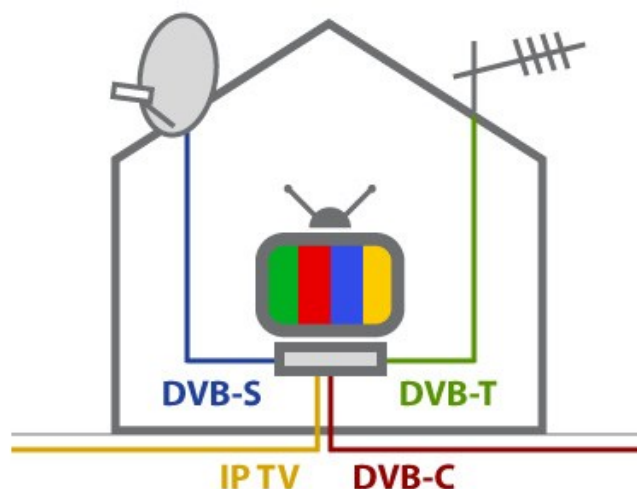
2.1 Standard DVB

Zkratkou DVB (Digital Video Broadcasting) je označováno mezinárodní konsorcium vytvořené televizními společnostmi, výrobci, síťovými operátory, vývojáři softwaru, regulačními organizacemi a dalšími zástupci. Toto konsorcium čítá více než 200 členů z různých zemí celého světa. [1] Definitivní vznik tohoto konsorcia započal v roce 1993 a od té doby se specifikace DVB staly normami v oblasti digitálního televizního vysílání po celém světě. DVB nabízí různé úrovně kvality televizního vysílání, od nízké kvality LDTV (Low-Definition Television), přes standardní kvalitu SDTV (Standard-Definition Television) až po vysokou kvalitu vysílání HDTV (High-Definition Television). Také umožňuje přenášet různé kvality zvuku, od monofonního zvuku, přes stereofonní až po prostorový zvuk 5.1 Dolby Digital. [2]

Je možno rozlišit 4 druhy DVB vysílání:

- DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial) – Digitální pozemní vysílání,
- DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite) – Digitální satelitní vysílání,
- DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable) – Digitální kabelové vysílání,
- IPTV (Internet Protocol Television) – Digitální vysílání IPTV.

Možnosti příjmu DVB v domácnosti jsou přehledně ilustrovány na *Obr. 2.1*.



Obr. 2.1 Možnosti příjmu DVB [3]

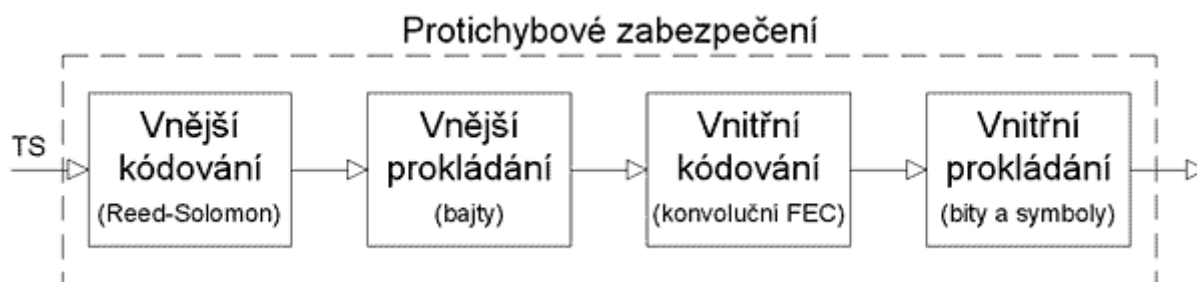
2.2 Pozemní digitální televizní vysílání DVB-T

Systém DVB-T pracuje v rozsahu IV. a V. televizního pásma, ve frekvenčním pásmu ultrakrátkých vln UHF (Ultra High Frequency). Spektrum se rozkládá od 470 MHz do 862 MHz (21. až 69. kanál), v Evropě je pro DVB-T v pásmu UHF stanovena šířka jednoho kanálu na 8 MHz, tímto je zde možné vysílat až na 49 televizních kanálech. Šířka pásma jednoho kanálu zůstala zachována z původního analogového televizního přenosu.

Základní zpracování vysílací části řetězce DVB-T probíhá snímáním obrazu a zvuku, probíhá tedy vzorkování původního audiovizuálního signálu a každému vzorku se přiřazuje určitá kódová hodnota. Množství dat, které je přenášeno od zdroje vysílání (obvykle televizní studio) k samotnému vysílači DVB-T, je však příliš vysoké na to, aby jej bylo možné přenést v jednom kanálu s šířkou pásma 8 MHz. Proto je nutné data komprimovat tak, aby se celková bitová rychlost pohybovala v rozmezí 4 až 8 Mbit/s na jeden televizní program v jednom multiplexu ve standardním obrazovém rozlišení 720 x 576 obrazových bodů s 25 snímků/s a 16 bity na obrazový bod.

Soubor datových toků pro obrazovou část, zvukovou část, někdy také i rozhlasovou část a datový tok doplňkových služeb, které představují informační služby o právě vysílaném televizním programu, teletext, atd. se u DVB-T nazývá multiplex. Tyto multiplexy jsou dále seskupovány do takzvaných transportních multiplexů, které obvykle obsahují 4 až 6 televizních programů (podle kvality těchto programů). Transportní multiplex je dále nutno zabezpečit proti chybám během přenosu. Protichybové zabezpečení v systému DVB-T je několikastupňové viz Obr. 2.2. Je použito vnější kódování pomocí Reed-Solomonova kódu a vnitřní kódování s dopřednou korekcí chyb FEC (Forward Error Correction), využívající tzv. konvoluční kód, který na straně dekodéru umožňuje opravit určité

procento chyb, které mohou vzniknout během přenosu transportního toku TS (Transport Stream) přenosovým kanálem. Konvoluční kódování zvětšuje bitovou rychlost přidáváním až 50% redundance, což odpovídá kódovému poměru $C = 1/2$. Kódový poměr udává počet informačních bitů k celkovému počtu přenášených bitů. Používaný kódový poměr existuje ve více variantách a je ho možné snížit až na $C = 7/8$. Vnější a vnitřní prokládání zabezpečuje přenos proti koncentrovaným shlukům chyb.



Obr. 2.2 Jednotlivé bloky protichybového zabezpečení transportního toku DVB-T [4]

Zavedením ochrany datového toku, je transportnímu toku přidána nová redundance, která však tento transportní tok účinně chrání proti rušení, které může vznikat v přenosovém prostředí. Způsob ochrany signálu se liší mezi jednotlivými systémy DVB, je jiný v pozemním, kabelovém i satelitním vysílání. Při srovnání způsobů zabezpečení u těchto tří technologií je možné říci, že nejsložitější zabezpečení má pozemní vysílání DVB, za ním je satelitní přenos DVB a nejjednodušší zabezpečení je používáno u kabelové televize, kde se rušení téměř nevyskytuje. Takto zabezpečený transportní multiplex je již možno připravit pro přenos, tedy modulovat na více nosných vln pomocí systému modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex).

2.2.1 Modulace OFDM

Signál DVB-T, šířený z pozemních televizních vysílačů, ovlivňuje velká řada faktorů, které zapříčiňují různé nástrahy a překážky v cestě signálu, proto se u DVB-T používá účinné protichybové zabezpečení a také poměrně odolná digitální modulace.

Systém DVB-T používá modulační princip OFDM, který je založen na tom, že přenosový (televizní) kanál obsahuje velký počet rovnoměrně rozmístěných dílčích subnosných vln (kmitočtů), z čehož je odvozen jeho název – ortogonální frekvenčně dělený multiplex. Norma DVB-T připouští dva základní módy modulace OFDM: mód 2K (1705 subnosných), který je používán pouze ve Velké Británii, a mód 8K (6817 subnosných), používaný ve většině ostatních zemí. Z celkového počtu 6817 subnosných je 6048 aktivních (určených pro přenos dat) a 769 referenčních (sloužících k tzv. vzorkování kanálu). Každá dílčí subnosná vlna je modulována některým ze tří typů vícecestavových

digitálních modulací QPSK (Quadrature phase-shift keying), 16-QAM (Quadrature amplitude modulation) nebo 64-QAM. Je-li použita modulace QPSK, pak jedna subnosná vlna přenáší 2 bity informace, modulace 16-QAM umožňuje přenášet 4 bity a modulace 64-QAM 6 bitů jednou subnosnou vlnou. Je tedy možno říci, že modulátor OFDM vlastně přerozdělí kontinuální tok bitů TS mezi 6048 aktivních subnosných vln, tím dojde ke změně principu přenosu dat ze sériového na paralelní a zároveň k prodloužení trvání každého bitu resp. symbolu.

Modulace OFDM má dvě zásadní přednosti. Tato modulace je téměř imunní vůči chybám, způsobeným vícecestným šířením a odrazy, které se například v analogové televizi projevovaly jako takzvané "duchy" (rozostření obrazu). OFDM umožňuje provoz tzv. jednofrekvenčních sítí SFN (Single Frequency Networks), kdy několik televizních vysílačů vysílá na jednom společném kanálu (kmitočtu) a vzájemně se svými výkony doplňují. [4]

Podle použitého typu modulace, kódového poměru konvolučního prokládání a délky ochranného intervalu se odvíjí celková přenosová rychlost transportního multiplexu. Situace kombinací nastavení OFDM je zobrazena v *Tab. 2.1*.

Tab. 2.1 Přenosové rychlosti pro různá nastavení OFDM [5]

Typ modulace	Kódový poměr	Přenosová rychlost [Mbit/s]			
		Ochranný interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,1
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,1
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

2.2.2 Jednofrekvenční síť

U předchozího analogového televizního vysílání musel každý vysílač pracovat na jiné frekvenci, aby nedocházelo k jejich vzájemnému rušení. Taková síť vysílačů se nazývala jako multifrekvenční. U jednofrekvenčních sítí vysílá skupina digitálních televizních vysílačů na jedné frekvenci. Fungování jednofrekvenčních sítí DVB-T umožnil vznik modulace OFDM. Vícecestné šíření způsobovalo u analogového signálu rušení, ale DVB-T je oproti více odraženým signálům šířícím se s různým časovým rozestupem výrazně odolnější. Odraženými signály mohou být signály z jednoho vysílače, ale i z jiného vysílače, který vysílá stejný multiplex. Příjem signálu DVB-T je odolný vůči odrazům od překážek, které se vyskytují po cestě šíření signálu, díky ochrannému intervalu. Při použití ochranného intervalu a použití správné časové synchronizace je možné zajistit současné šíření signálu ze dvou i více televizních vysílačů, tak aby se vzájemně nerušily.

U jednofrekvenčních sítí je důležité zajištění synchronizace vysílání mezi jednotlivými vysílači. Proces synchronizace začíná už při tvorbě transportního multiplexu, kdy se k tomuto signálu přidává značka MIP (Mega Initialization Packet), která obsahuje časový synchronizační údaj ze systému GPS (Global Position System) a tato značka je spolu s transportním multiplexem přenášena distribuční sítí, která může být tvořena radioreléovými spoji, satelitním spojem nebo optickou sítí až k jednotlivým vysílačům DVB-T. Na ostatních vysílačích v síti SFN je opět nainstalován přijímač GPS a dle jeho časového údaje a značky MIP se synchronizačním údajem GPS je signál sesynchronizován a následně odvysílán do éteru. V oblasti, kde se síť SFN překrývají, by se v případě chybné synchronizace nebo vadného přijímače GPS na vysílači stal takovýto vysílač zdrojem rušení.

Síť SFN s sebou přináší řadu výhod, ale najdou se i některé nevýhody. Mezi výhody sítě SFN patří:

- efektivní využití kmitočtového pásma, kdy se na jednom kmitočtu šíří multiplex více programů s pokrytím poměrně velkého území,
- efektivnější vynaložení energie potřebné na vysílání jednoho TV programu,
- v případě výskytu úniků signálu (hluboké údolí) v pokrytí lze tyto úniky (mezery ve spektru signálu) vyplnit.

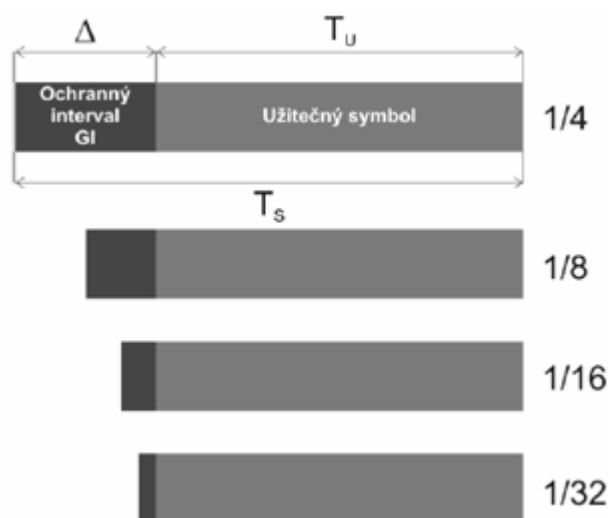
Naopak nevýhody sítě SFN jsou:

- vysílač, který porušuje pravidla SFN sítě, se stává zdrojem rušení,
- důležitá je přesná synchronizace (čas, frekvence, informace),
- nutnost neustálého monitorování vlastností SFN sítě. [2]

2.2.3 Ochranný interval

Jednotlivá data digitálního signálu jsou vysílána v časových úsecích, které jsou označovány jako symboly (T_s). Tyto symboly jsou tvořeny ze dvou částí, hlavní částí jsou primární data o programech – datové sledy (T_u) a druhou částí je tzv. ochranný interval (Δ), viz Obr. 2.3.

Ochranný interval se používá z důvodu eliminace rušení odrazy signálů, kdy jsou signály fázově posunuty a mají nízkou amplitudu a přijímač by z těchto signálů po jejich sečtení nesložil správný signál. Zjednodušeně řečeno po příjmu užitečného signálu a ještě několika odražených signálů přijímač přestane po dobu ochranného intervalu zachytávat zpožděné odražené signály, které by degradovaly výsledný signál. Tento ochranný interval slouží k tomu, aby v době ochranného intervalu nebyl přijímán žádný obsah nebo odrazy signálu a digitální přijímač tak měl možnost přijmout data nerušeně a bez problému je zpracovat a následně poskytnout digitální obraz. Veškeré signály, jak odražené tak přímé se v tomto časovém úseku musí sečíst. Délka celkového symbolu je součtem délky užitečného symbolu a ochranného intervalu. Délka ochranného intervalu se udává jako poměr vůči délce trvání užitečného symbolu, tedy např. 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.



Obr. 2.3 Varianty ochranných intervalů u DVB-T [2]

Při použití délky ochranného intervalu 1/4, při volbě systému počtu nosných 8K a délce trvání užitečného symbolu 896 μ s je délka trvání ochranného intervalu 224 μ s. Při hodnotě 1/4 je maximální možná vzdálenost dvou vysílačů v jednofrekvenční síti, vysíláních na stejném kanálu, 67,2 km. Tato vzdálenost je dána vztahem rychlosti světla ($c=299792458$ m/s) násobené délkou ochranného intervalu a platí zde úměra, že čím je delší ochranný interval, tím větší je maximální možná vzdálenost vysílačů, ale zároveň se zmenší užitečný datový tok, který určuje počet možných přenášovaných programů.

2.2.4 Příjem pozemního digitálního vysílání

Digitální televizní signál je pomocí vysílací antény převáděn na elektromagnetické vlny, které se šíří prostorem, obsahujícím řadu překážek, až k přijímací anténě, která elektromagnetické vlny opět převede na vysokofrekvenční napětí. K příjmu digitálního televizního vysílání nebylo potřeba výměnu stávajících antén, které byly použity pro příjem analogového televizního signálu. Jen v několika málo případech bylo nutné provést odborný zásah a provést případné změny kabeláže nebo výměnu antény. Vysílání probíhá ve stejných kmitočtových pásmech, jako předchozí analogové. Jedinou změnu na straně diváka, kterou bylo ve většině případů nutno provést, byla nutnost zakoupit si doplňkové zařízení – Set-top box pro převod digitálního televizního signálu na signál analogový, případně si zakoupit novou televizi s integrovaným digitálním přijímačem. Také lidé, kteří sledovali televizní přenosy prostřednictvím přídavné karty DVB-T do jejich osobního počítače, museli použít Set-top box nebo zakoupit nové typy karet.

Set-top box je v podstatě D/A převodník, který se chová jako zdroj signálu pro televizi, na které je tento signál zobrazen ve formě obrazu. Na svém vstupu přijímá digitální signál, který převádí na signál analogový a odesílá jej na vstup analogové televize.

2.3 Satelitní digitální televizní vysílání DVB-S

Jedná se o standard digitálního televizního vysílání, kde je vysílání televizního signálu zajišťováno pomocí družic obíhajících po stacionární dráze, přibližně 36 tisíc km nad povrchem Země. Každá družice má své vysílání a svou kanálovou nabídku. Ke sledování televizních programů si každý jednotlivec musí si pořídit přijímací anténu – parabolu, konvertor, přijímač a dekódovací kartu.

Počáteční zpracování televizního signálu probíhá podobně jako u systémů DVB-T, ale vytvořený transportní multiplex je namodulován pomocí modulace QPSK do pásma 14 GHz a odvysílán k družici obíhající Zemi, tam je zachycen a převáděn do pásma 11 až 12 GHz a zpět odvysílán na zemský povrch. Signál tak překoná vzdálenost až 72 tisíc km, tomu poté vždy odpovídá nízká úroveň signálu v místě příjmu.

Při příjmu signálu DVB-S je na střeše domu umístěna parabola, která odráží přijímaný signál do svého ohniska, v ohnisku paraboly je umístěna vnější jednotka – konvertor. Každá družice obsahuje další konvertor. U rozměrů paraboly platí, že čím je plocha paraboly větší, tím je při nepříznivém počasí možné dosáhnout větší úrovně a stability signálu. Signál určený pro střední Evropu, lze zachytit už na parabolu o průměru okolo 60 cm. Konvertor LNB (Low Noise Block konvertor) v ohnisku paraboly, který přijímá signál z družice, jej zesiluje a převádí na nižší kmitočet. Konvertory LNB pracují na frekvenci okolo 12 GHz, převádějí přijatý signál do pásma 950 až 2000 MHz a posílají jej

pomocí koaxiálního kabelu k přijímači satelitního vysílání, ten jej dále zpracovává. Každý jednotlivý přijímač je nutno nastavit a naladit příslušné kódované a nekódované kanály. Do příslušného slotu přijímače se zasune dekódovací karta a poté už je možno sledovat digitální vysílání v podobě satelitního digitálního vysílání.

Prostřednictvím satelitního vysílání lze přijímat televizní vysílání takřka kdekoliv. Tuto metodu k příjmu televizního signálu tedy uvítají především diváci v oblastech se špatným pozemním signálem, bez kabelových rozvodů a možností pořídit si IPTV. To platí především pro menší obce v pohraničí, ale také pro chataře a chalupáře a v případě pozemního vysílání i diváky z měst, kteří bydlí v zákrytu pozemního vysílače.

Výhodou satelitního televizního příjmu je možnost příjmu velkého počtu televizních programů v digitální podobě, mnohem většího, než je tomu u pozemního televizního vysílání. Kromě televizního vysílání může satelit nabídnout také širokopásmové připojení k internetu a televizi ve vysokém rozlišení obrazu HDTV. Další výhodou je, že pro televizní přenos není nutné budovat nákladné trasy s dílčími zesilovacími stanicemi, případně podmořskými kabely. Také pokrytí území je rovnoměrnější, než je tomu u pozemního vysílání, kde v blízkosti pozemního vysílače je velký signál, který se s rostoucí vzdáleností od vysílače zmenšuje. Velkou výhodou je, že příjem signálu není ovlivněn odrazy. A v neposlední řadě je také výhodou, že vysílaný signál je směrován a pokrývá požadované území, proto se kmitočtové kanály mohou na jiném území opakovat.

Nevýhodou je, že při příjmu satelitního signálu může nastat problém v místech, kde výhledu na oběžnou dráhu Země brání vzrostlé stromy nebo jiná překážka jako skála či panelový dům. Při příjmu satelitního vysílání ideálně nesmí nic bránit přímému výhledu na družici. Další potíží jsou změny počasí, při intenzivních bouřkách a deštích někdy může být zhoršená kvalita satelitního příjmu, v extrémních případech zcela nemožná.

2.4 Kabelové digitální televizní vysílání DVB-C

Jedná se o standard digitálního televizního vysílání přenášeného prostřednictvím kabelové sítě. Tyto sítě jsou většinou dostupné jen ve městech a větších obcích, kde jsou instalovány kabelové rozvody určené pro DVB-C.

Síť digitální kabelové televize může být vedena pomocí koaxiálních kabelů, optických vláken, či kombinací obou možností. V praxi je nejčastěji využívána právě kombinace koaxiálních kabelů a optických vláken, která se nazývá HFC (Hybrid Fiber Coax). V síti vedené koaxiálními kabely je možno dosáhnout kapacity sítě 330 – 450 MHz, v optické síti je možno dosáhnout kapacity 750 MHz i více. Jako standardní modulační metoda byla v systému DVB-C zvolena vícecestavová modulace

64-QAM (ale využívají se také další verze této modulace: 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM a 256-QAM). [6]

Pro příjem kabelového vysílání je potřeba mít Set-top box nebo přijímač s vestavěným tunerem DVB-C a přípojku digitální kabelové televize. Na televizory s tunerem DVB-C je možné přijímat pouze nekódované televizní programy. Pokud je televizor vybaven rozhraním pro modul s dekódovací kartou, je možné přijímat i placené programy. Moduly a karty bývají spárované a dodávány poskytovatelem kabelového připojení

Největší výhodou digitální kabelové televize je mnohem širší pásmo než je tomu u vysílání DVB-T. K divákovi se pomocí této technologie dostane mnohem více televizních programů, včetně stanic ve vysokém rozlišení obrazu HDTV. Digitální kabelová televize není na rozdíl od pozemního nebo satelitního příjmu náchylná na vlivy působením počasí, nevyřadí jí silné bouřky nebo vichřice, pokud tedy kabelový operátor neodebírá signál televizních programů z pozemního vysílače nebo satelitu, který má kvůli počasí problém s jejich distribucí. Další výhodou je fakt, že v dané lokalitě odpadají problémy s nastavením antény nebo paraboly.

Mezi hlavní nevýhodu digitální kabelové televize patří její omezená dostupnost. Poskytovatelé kabelové televize se soustředí především na velká a střední města a jen velmi výjimečně je tento druh digitálního vysílání dostupný v menších obcích. Další nevýhodou je nutné zapojení kabelového Set-top boxu, bez kterého většinou nelze digitální kabelovou televizi přijímat. Převodník digitálního signálu navíc obsahuje dekódovací kartu, kterou se kabelová společnost jistí před zneužitím svých služeb. Karty bývají spárované se Set-top boxem, což znamená, že přijímač i kartu musí zákazníkovi dodat sama kabelová společnost (Set-top box nelze koupit samostatně v obchodě).

2.5 Digitální televizní vysílání IPTV

IPTV neboli televize přes internetový protokol je systém, kde jsou služby digitální televize šířeny prostřednictvím protokolu IP přes síť telefonní přípojky, která může být také součástí dodávky širokopásmového připojení k internetu. Použití technologií pro počítačové sítě je hlavní rozdíl IPTV od pozemního, satelitního nebo kabelového vysílání. Jedná se o technologii, která se snaží konkurovat již dříve zavedené kabelové televizi, přičemž IPTV se snaží nabídnout mnohem více možností oboustranné komunikace a unikátnější obsah. Zároveň je dostupnější než služby současných kabelových operátorů, a také konkuruje i svou cenou.

Přes klasickou telefonní linku a přípojku s vysokorychlostním internetem ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) by se tolik dat, kolik je třeba pro streamování kompletního televizního vysílání na klasický televizor či dokonce televizor s vysokým rozlišením obrazu do domácnosti

nedostalo. Provozovatelé IPTV proto optimalizují své sítě na větší šířku pásma a rychlejší spojení s koncovým uživatelem, konkrétně vysokorychlostním připojením ADSL2+, případně využívají síť VDSL (Very High Speed DSL) s optickými kabely. Takováto robustnější síť většinou nevede až k zákazníkovi IPTV, ale jen do sběrných bodů, takzvaných DSLAMů (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), odkud do domácnosti putuje vždy jen jedna zvolená služba (jeden televizní program). V určitém centrálním bodu je k dispozici celá programová nabídka televizních stanic. Divák si na svém televizoru zvolí program, stisknutím příslušného tlačítka dálkového ovladače vyšle signál do této centrály a ta mu do jeho televizoru odesílá právě tento jeden program. Od centrály k divákovi tedy putuje pouze jeden televizní program a není nutné, aby optimalizovaný (a pro telekomunikační společnost velmi drahý) kabel vedl do každé domácnosti. Existují ale určitá omezení. Příjemce IPTV by neměl být ve větší vzdálenosti, než 3,5 km od DSLAMu a počet domácností napojených na jeden takový centrální bod by měl být omezený, aby nedocházelo k výpadkům vlivem přetížení.

Video obsah je většinou komprimovaný za použití kodeku MPEG-2 (Moving Picture Experts Group) nebo MPEG-4. Takto předzpracovaný obsah je poté posílán pomocí transportního tokového protokolu MPEG přes IP multicast v případě standardně vysílané televize tj. vysílání více divákům současně nebo přes IP Unicast v případě videového obsahu na přání pro jednoho diváka VoD (Video of Demand). Pro zpracování obrazu se stále více využívá novější kodek H.264, který tak nahrazuje starší kodek MPEG-2. Na úrovni síťové vrstvy se pak typicky používá IP multicast za pomoci standardního IGMP (Internet Group Management Protocol) protokolu v případě standardního televizního vysílání, pro video na požádání pak protokol RTSP (Real Time Streaming Protocol).

Divák ke sledování IPTV potřebuje modem napojený na telefonní zásuvku, dále Set-top box napojený na modem a připojený k televizoru.

Zásadní rozdíl mezi IPTV a kabelovou televizí je v šířce pásma, přes které se k zákazníkovi šíří televizní programy. U kabelových sítí je pásmo mnohem širší a umožňuje v jednom okamžiku přijímat všechny nabízené programy, zatímco u IPTV putuje z centrálního DSLAMu k divákovi vždy jen jeden program.

Výhodou příjmu televize prostřednictvím IPTV je, že díky rozsáhlé síti pevných telefonních linek, je tento způsob příjmu dostupný širšímu počtu diváků, než je tomu u kabelové televize, která je dostupná jen v centrech měst a sídlišťích s větším počtem obyvatel. Další výhodou IPTV je, že nabízí mnohem větší míru interaktivity, kdy si divák může zpětně přehrát televizní pořady vysílané na jakémkoliv programu, objednat a přehrát film z domácí videopůjčovny nebo si sám sestavit vlastní televizní program. Takové možnosti interaktivity jako IPTV pozemní ostatní technologie příjmu televize nikdy nenabídnou.

Nevýhodou IPTV je, že její provozovatelé musejí pro poskytnutí příjmu optimalizovat své sítě na větší šířku pásma a rychlejší spojení s koncovým uživatelem, z tohoto důvodu není IPTV dostupná všem uživatelům, kteří mají internetovou přípojku DSL. IPTV se zatím omezuje obvykle na větší města, zatímco u menších obcí záleží na počtu zájemců, což je způsobeno zájmem o službu, tak aby se operátorovi vyplatilo modernizovat přenosovou síť. Další možnou nevýhodou tohoto způsobu televizního příjmu je ta, že při přepínání programů může dojít k určité časové prodlevě. Zejména u IPTV vedeném po sítích ADSL nebo ADSL2+, v závislosti na rychlosti připojení a vzdálenosti od DSLAMu je možná až několikasekundová prodleva. [7]

3 Teoretický rozbor problematiky šíření televizního signálu v městské zástavbě

Tato kapitola popisuje problematiku šíření digitálního televizního signálu v prostředí městské zástavby. Nejprve je zde popsáno jakým typem vlny se šíří televizní signál DVB-T, kde jsou popsány i teoretické vztahy pro výpočet parametrů této vlny ve volném prostoru. Dále jsou v této kapitole popsány mechanismy šíření vlny v prostředí zástavby, vliv polarizace na šíření signálu zástavbou a teoretické přenosové kanály při šíření zástavbou.

3.1 Šíření vln v pásmu UHF

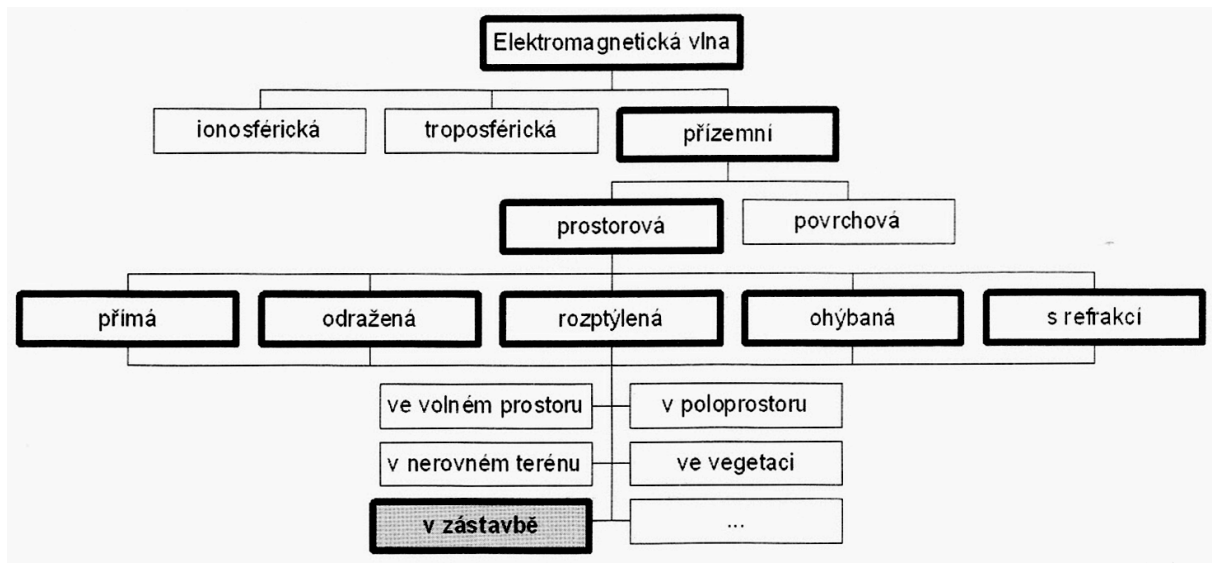
Charakter chování elektromagnetické vlny určuje hlavně její frekvence f , a s ní související vlnová délka λ . Jejich vzájemný přepoččet vychází z následujícího vztahu:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (3.1)$$

kde jsou: λ – vlnová délka [m], f – frekvence [Hz], c – rychlost šíření elektromagnetické vlny ve vakuu (299792458 m/s).

Délka vlny a rozměry objektů v prostředí, ve kterém se vlna šíří, určují, jak bude vlna při šíření tlumena, odrážena, ohýbána a rozptylována. Systémy DVB-T pracují v pásmu decimetrových vln, neboli v pásmu UHF. Pásmo UHF zahrnuje kmitočty od 300 MHz do 3 GHz. Důvodem proč bylo pro systém DVB-T vybráno zrovna toto frekvenční pásmo, jsou jeho vhodné vlastnosti pro tento typ komunikace. Signál v pásmu UHF má při svém šíření relativně malé ztráty, dobrou schopnost odrážet se, ohýbat se a pronikat překážkami v zástavbě. Decimetrové vlnové délky také navíc umožňují konstrukci relativně malých antén.

Přízemní prostorová vlna se může šířit buďto spojem s přímou viditelností mezi dvěma anténami, nebo spojem s ohyby, odrazy, lomy a rozptyly na překážkách, kterými je ovlivňována. Podle tohoto, kde dochází k šíření vln, je možné obecně rozlišit vlny šířící se ve volném prostoru, v poloprostoru nad rovinnou zemí, nad členitým terénem, nad terénem s vegetací, a nakonec vlny šířící se v městské zástavbě, kde jsou v cestě šíření signálu překážky, které vybudoval sám člověk. Rozdělení vln podle místa jejich šíření zobrazuje *Obr. 3.1*. Jednotlivé vlivy se často kombinují, předmětem této práce je však popsat především vlivy městské zástavby. Při použitím frekvenčního pásma UHF, je možno u šíření vln v zástavbě, zanedbat další jevy v přízemních vrstvách atmosféry, jako jsou troposférický lom, útlum hydrometeory, útlum atmosférických plynů aj.



Obr. 3.1 Prostorová klasifikace šíření elektromagnetických vln [8]

Při šíření elektromagnetických vln dochází k přeměně elektromagnetické energie vedené kabelem na energii vyzářenou do prostoru pomocí antény, přenosu vlny daným prostředím, a pak ke zpětné transformaci vyzářené vlny na vlnu vedenou. Pro popis pokrytí, který se vyjadřuje jako úroveň signálu, který je generován vysílací anténou v daném bodě pozorování, existují dvě možnosti. Úroveň signálu je možné popsat, buď jako intenzitu elektrického pole v daném místě příjmu nebo jako výkonovou úroveň na referenční přijímací anténě. Jako referenční anténa se ideálně volí všesměrová anténa s jednotkovým ziskem (0 dB). Pro zobrazení pokrytí se častěji používá výkonová úroveň. Nejdříve zde bude uveden teoretický popis šíření vln ve volném prostoru. Pro šíření vln v idealizovaných podmínkách volného prostoru, platí následující vztah:

$$E_{ef} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_v \cdot G_v}}{d} \text{ [V/m]} \quad (3.2)$$

kde jsou: E_{ef} – efektivní hodnota intenzity elektrického pole v bodě pozorování, P_v – výkon na vstupu vysílací antény [W], G_v – zisk vysílací antény v příslušném směru [-], d – vzdálenost vysílací a přijímací antény [m].

V případě, když je v bodě příjmu umístěna přijímací anténa, tak při jejím správném impedančním přizpůsobení lze zapsat ideální přenosovou rovnici:

$$P_p = \frac{E_{ef}^2}{120\pi} \cdot \frac{G_p \lambda^2}{4\lambda} = P_v G_v G_p \cdot \left(\frac{\lambda}{4\lambda d} \right)^2 \text{ [W]} \quad (3.3)$$

kde jsou: P_p – výkon přijatý přijímací anténou v bodě pozorování, G_p – zisk přijímací antény v příslušném směru [-].

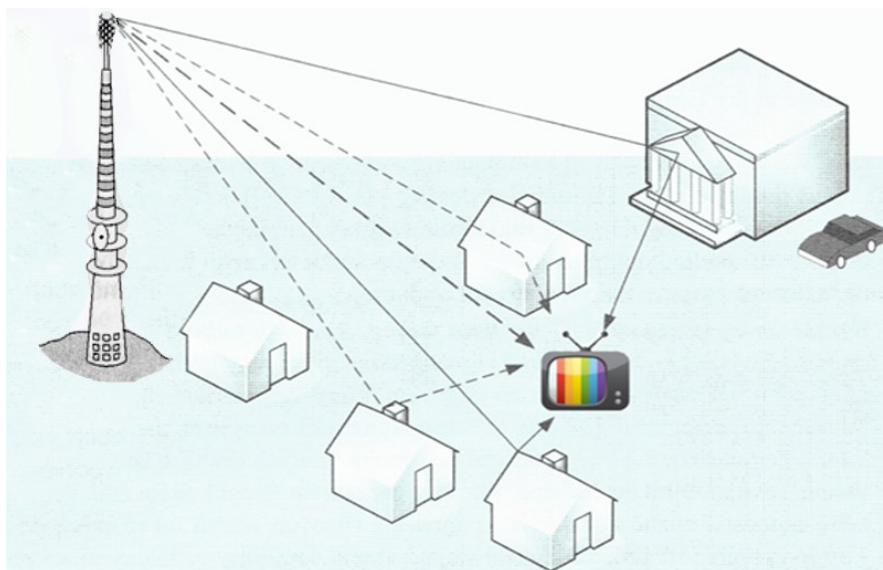
V praxi se pro přijatý výkon takřka výhradně používá vyjádření v dBm:

$$P_p = P_v + G_v + G_p - FDL(d) - L \text{ [dBm]} \quad (3.4)$$

kde jsou: P_p – přijatý výkon, P_v – výkon na vstupu vysílací antény [dBm], G_v , G_p – zisk antén [dB], $FDL(d)$ – ztráty volným prostorem [dB], L – ztráty šířením v daném prostředí [dB] (ve volném prostoru jsou nulové).

3.2 Mechanizmy šíření signálu v zástavbě

Signál šířící se od antény vysílací k anténě přijímací prostředím městské zástavby je tímto prostředím ovlivňován a jeho úroveň obvykle kolísá působením různých fyzikálních principů, jako jsou odraz, lom, ohyb a rozptyl elektromagnetických vln. Signál se může šířit i přímou cestou, mezi vysílačem a přijímačem, ale musí existovat tzv. optická viditelnost. Optická viditelnost však v prostředí zástavby obvykle neexistuje a mezi vysílačem a přijímačem se většinou nacházejí překážky ve formě vyšších či nižších budov v tomto případě jsou převažujícími mechanismy šíření ohyby na hranách střech a odrazy od objektů. Představa šíření signálu od vysílače až k přijímači v prostředí zástavby je zobrazena na Obr. 3.2. Jednotlivé mechanismy šíření vždy závisí na typu okolního prostředí a na umístění vysílací a přijímací antény.



Obr. 3.2 Představa šíření elektromagnetického signálu od vysílače až k přijímači v prostředí zástavby

Při vysílání se na obou koncích, jak na straně vysílací, tak na straně přijímací uplatňuje zisk antén, kterým je nutné vynásobit výkonovou úroveň přijímaného signálu. Na přijímací straně se k signálu přidává aditivní šum, způsobený interferencemi a šumem přijímače. Útlum šířením daným prostředím je tvořen dvěma násobnými složkami:

1. Ztráty šířením (path loss) – jedná se o útlum, který je závislý především na délce spoje a typu prostředí. Je to časově neproměnná složka a představuje střední hodnotu signálu v určitém bodě pozorování a jeho okolí. Hodnota útlumu je dána průměrem velkého počtu měření okamžité hodnoty úrovně signálu, kdy byla tyto měření uskutečněna v dostatečně dlouhých časových intervalech na ploše o průměru řádově několika vlnových délek. [8]

2. Rychlé úniky (fast fading) – způsobují velmi rychlé a hluboké kolísání úrovně signálu. Jsou způsobeny především vícecestným šířením signálu a dopplerovským posuvem (kolísáním přijaté frekvence), který vzniká důsledkem pohybu okolních objektů (osob, automobilů, vlaků). Elektromagnetická energie se mezi dvěma anténami šíří pomocí odrazů po mnoha různých drahách. Při vícecestném šíření dochází k fázovému sčítání velkého množství různě odražených signálů z různých směrů od různých objektů. Tím je v prostoru vytvářeno stojaté vlnění s minimy, která jsou od sebe vzdálena asi o polovinu vlnové délky. Zpoždění odražených signálů může být různé (např. i desítky ms) podle vzdálenosti objektů, od kterých se signály odrážejí. Důležitou vlastností rychlých úniků je také skutečnost, že jsou silně proměnné v čase, což je způsobeno neustále se měnícím přenosovým prostředím. [8]

Vlivem ztrát šířením a úniků je možné celkový útlum šířením po určité idealizaci zapsat jako součet dvou složek:

$$L_c(p, t) = L(p) + X(t) \text{ [dB]} \quad (3.5)$$

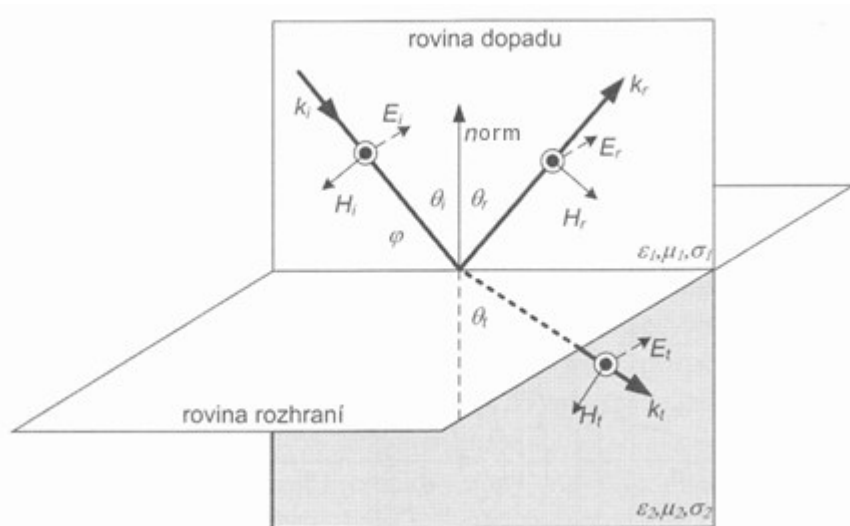
kde jsou: $L_c(p, t)$ – celkové ztráty šířením pro anténu v místě p a čase t , $L(p)$ – střední hodnota ztrát daná pozicí antény p [dB], $X(t)$ – náhodná, časově proměnná složka ztrát s nulovou střední hodnotou daná statistickým rozložením rychlých úniků v čase t [dB].

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé mechanismy šíření, prostřednictvím kterých se šíří signál v prostředí zástavby.

3.2.1 Odraz a lom

Na rozhraní dvou prostředí s odlišnými materiálovými parametry dochází k odrazu a lomu vlny. Prostředími je možno rozumět například volnou plochu – vzduch a zdi objektů budov. Při představě nekonečně velkého rovinného rozhraní, je možno z Maxwellových rovnic, na základě podmínky rovnosti tečných složek vektorů pole na rozhraní, odvodit Snellův zákon odrazu a lomu (rovnice 3.6 až 3.8) a také tzv. Fresnelovy vztahy (rovnice 3.9 až 3.12). V praxi se ale vlny odrážejí od nedokonale rovného nebo i jinak tvarovaného povrchu (např. kulová plocha) konečných rozměrů. Je-li však odrazná plocha dostatečně hladká a dostatečně rozlehlá, je možno použít Fresnelovy vztahy a určit tak parametry odražené vlny s přesností, která vyhovuje většině technických aplikací.

Základní geometrii rovin znázorňuje Obr. 3.3. Rovinná harmonická vlna dopadá na rozhraní dvou prostředí, která jsou definována materiálovými parametry (μ – permeabilita, ε – permitivita a σ – vodivost), na rovinu kde leží Poyntingův vektor (vektorový součin intenzit elektrického a magnetického pole) dopadající vlny a normála roviny rozhraní (*norm*), takováto rovina se nazývá rovina dopadu. Dopadající vlna se v místě dopadu částečně odráží a částečně proniká do druhého prostředí. Úhel dopadu θ_i , úhel odrazu θ_r a úhel θ_t , pod kterým se pronikající vlna láme v druhém prostředí je měřen od kolmice k rovině rozhraní. Vektory k_i , k_r a k_t jsou vlnové vektory ve směru Poyntingova vektoru dopadající, odražené a pronikající vlny. Obecně pro rovinnou vlnu platí $E \perp H \perp k$ (kde E je elektrická složka, H magnetická složka elektromagnetické vlny a k je vlnový vektor ve směru Poyntingova vektoru).



Obr. 3.3 Odraz rovinné vlny od rovinného rozhraní – kolmá polarizace [9]

Podle Snellova zákona odrazu a lomu platí:

$$\theta_i = \theta_r \quad (3.6)$$

$$k_1 \cdot \sin \theta_i = k_2 \cdot \sin \theta_t \quad (3.7)$$

kde k_1 a k_2 jsou konstanty šíření pro obě prostředí. Pro prostředí se stejnými hodnotami permeabilit $\mu_1 = \mu_2$ je možné zákon lomu vyjádřit jako:

$$\frac{\sin \theta_t}{\sin \theta_i} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}}{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\varepsilon_{r2}}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3.8)$$

kde jsou: n – index lomu, v – fázová rychlost šíření vlny [m/s], Z – vlnová impedance daného prostředí [Ω].

Poměry amplitud intenzity elektrického pole E_i dopadající vlny, E_r odražené vlny a E_t pronikající vlny lze vyjádřit Fresnelovými vztahy. Fresnelovy vztahy vycházejí z rovnosti tečných složek pole na rozhraní, je tedy rozhodující i orientace vektoru pole E dopadající vlny. Je možné rozlišit dva základní případy polarizace, na které lze rozložit každou obecně polarizovanou vlnu. Polarizace kolmá, kdy je vektor E kolmý na rovinu dopadu, odpovídá horizontální polarizaci. Polarizace rovnoběžná, kdy je vektor E rovnoběžný s rovinou dopadu, odpovídá vertikální polarizaci. Koeficienty odrazu R a prostupu T pro kolmou polarizaci jsou:

$$R_{\perp} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \theta_i}}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \theta_i}} \quad (3.9)$$

$$T_{\perp} = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_2 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} = \frac{2Z_2 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \theta_i}} \quad (3.10)$$

a pro rovnoběžnou polarizaci:

$$R_{\parallel} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} = \frac{Z_2 \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \theta_i} - Z_1 \cos \theta_i}{Z_2 \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \theta_i} + Z_1 \cos \theta_i} \quad (3.11)$$

$$T_{\parallel} = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_2 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_t + Z_1 \cos \theta_i} = \frac{2Z_2 \cos \theta_i}{Z_2 \sqrt{1 - \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 \sin^2 \theta_i} + Z_1 \cos \theta_i} \quad (3.12)$$

Pro praktické aplikace se uvádějí koeficienty odrazu pro obě polarizace v případě, když vlna dopadá ze vzduchu (vakua) na povrch s parametry $\mu_r=1$, ε_r a σ pod úhlem φ (měřeno od roviny rozhraní podle Obr. 3.3). Kolmá polarizace je označena jako horizontální:

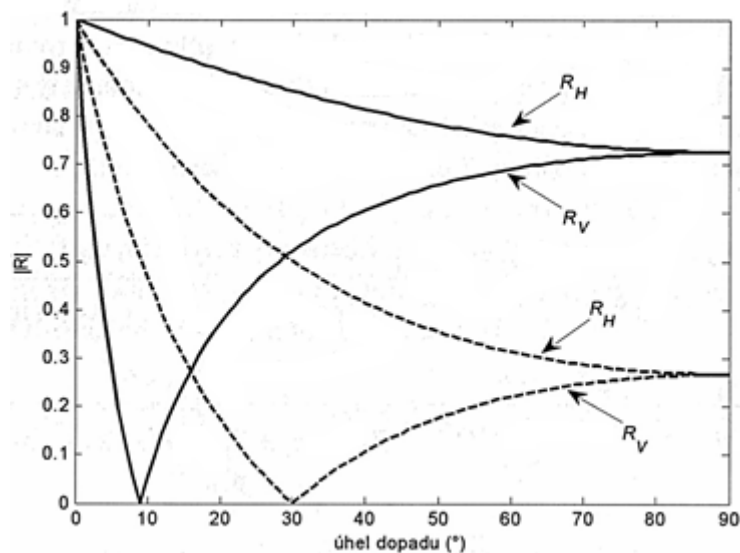
$$R_H = \frac{\sin \varphi - \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}}{\sin \varphi + \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}} \quad (3.13)$$

a rovnoběžná jako vertikální vůči zemskému povrchu:

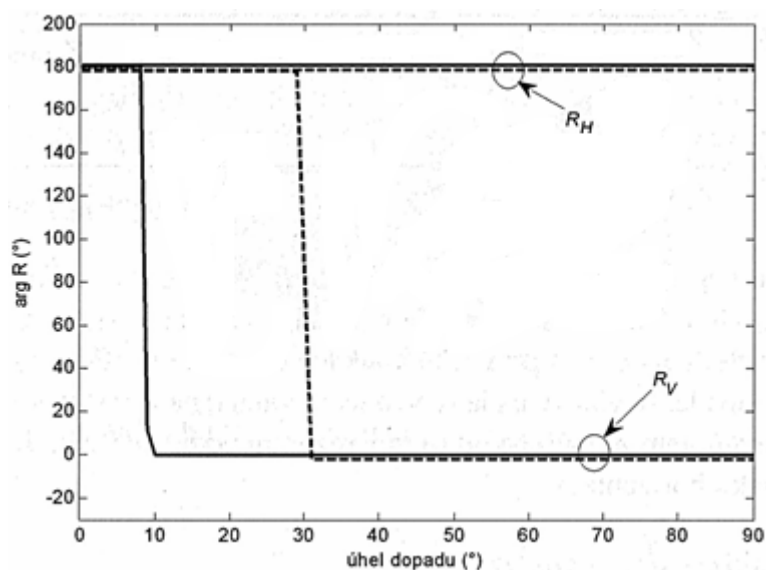
$$R_V = \frac{\varepsilon_{kr} \sin \varphi - \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}}{\varepsilon_{kr} \sin \varphi + \sqrt{\varepsilon_{kr} - \cos^2 \varphi}} \quad (3.14)$$

kde ε_{kr} je komplexní relativní permitivita, která se v případě nevodivého prostředí rovná relativní permitivitě.

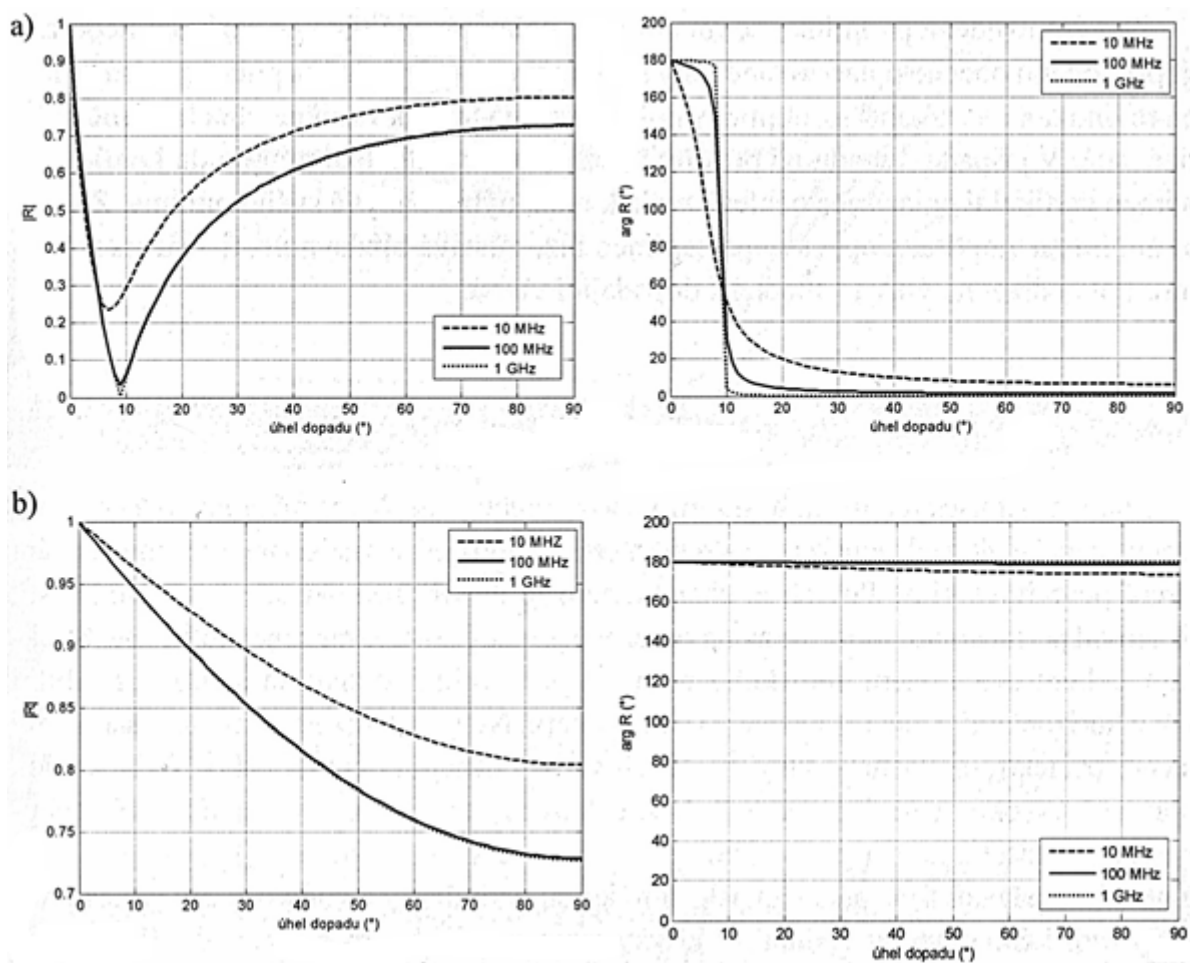
Koeficient odrazu je obecně komplexní, má tedy amplitudu a fázi. Na Obr. 3.4, 3.5 a 3.6 jsou pro obě polarizace vykresleny závislosti koeficientu odrazu na úhlu dopadu φ , vodivostních parametrech odrazného povrchu a frekvenci.



Obr. 3.4 Závislost odrazivosti na úhlu dopadu vlnění, dobře vodivý povrch je zobrazen plnou čarou a špatně vodivý povrch čarou čárkovanou, $f=450$ MHz [9]



Obr. 3.5 Závislost fáze na úhlu dopadu vlnění, dobře vodivý povrch je zobrazen plnou čarou a špatně vodivý povrch čarou čárkovanou, $f=450$ MHz [9]



Obr. 3.6 Frekvenční závislost koeficientu odrazu na úhlu dopadu pro dobře vodivý povrch
a) vertikální, b) horizontální polarizace [9]

Horizontální polarizace se odráží vždy s opačnou fází a fáze se při dobře vodivém povrchu v závislosti na úhlu dopadu příliš nemění, amplituda mírně klesá. Pro velmi malé úhly dopadu a dobře vodivý povrch, což je případ odrazu prostorové vlny od země u většiny pevných pozemních spojů, lze pro obě polarizace zobecnit koeficient odrazu R :

$$R \approx 1e^{j\pi} = -1 \quad (3.15)$$

Průběh koeficientu odrazu vertikální polarizace se zvětšujícím se úhlem dopadu φ je již složitější. Amplituda i fáze strmě klesají až do svého minima, kdy je v případě nevodivého povrchu amplituda koeficientu odrazu rovna nule. Příslušný úhel dopadu se nazývá Brewsterův polarizační úhel a obecně jej lze pro dvě ideální dielektrika definovat jako:

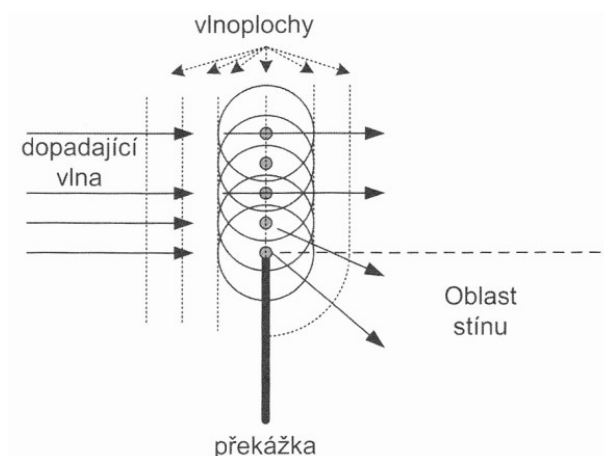
$$\sin \theta_{iBR} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}} \quad (3.16)$$

Při dopadu vlny pod Brewsterovým úhlem se vertikálně polarizovaná vlna od rozhraní neodráží, tj. při dopadu obecně polarizované vlny se odráží pouze její složka polarizovaná kolmo na rovinu dopadu. V případě dopadu na prostředí s nenulovou vodivostí amplituda koeficientu odrazu vertikální polarizace neklesá zcela k nule, ale nabývá svého minima. Za tímto minimem amplituda opět stoupá, zatímco fáze se blíží k nule, tj. orientace vektoru pole odražené vlny je shodná s dopadající vlnou. [9]

3.2.2 Ohyb

Pomocí Huygensova principu lze vysvětlit šíření vln i do oblasti optického stínu za překážku, tento jev se nazývá ohyb (difrakce) vln na překážce. Huygensův princip zní: vlnění se šíří prostorem tak, že každý bod, do kterého vlnění dospěje, se stává zdrojem sekundárního vlnění a výsledný stav vlnění v libovolném bodě prostoru je pak určen superpozicí (interferencí) všech těchto elementárních vlnění. [10]

Matematické vyjádření difrakce na překážce obecného tvaru a materiálových parametrů by bylo extrémně komplikované, takže existují pouze řešení pro několik základních typových případů. Proto zde bude uvedeno pouze řešení případu ohybu na polorovině *Obr. 3.7*, která dokonale absorbuje dopadající energii (nedochází k odrazu vlny). Tento případ se také nazývá optická (Fresnelova) difrakce nebo difrakce na ostrém břitu.

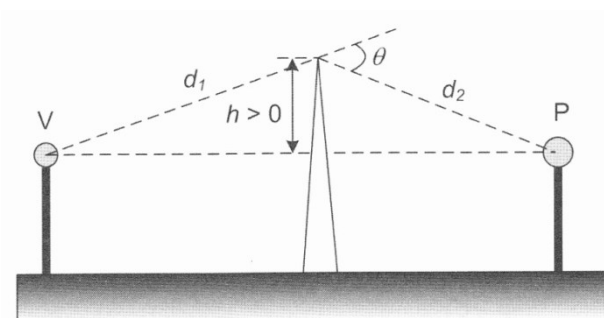


Obr. 3.7 Princip šíření vln do oblasti stínu za překážkou [9]

Míra zastínění přímé viditelnosti mezi zdrojem vlny V a bodem příjmu P se definuje pomocí normovaného parametru a :

$$a = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}} \quad (3.17)$$

kde λ je vlnová délka a význam ostatních veličin je zřejmý z geometrie na Obr. 3.8. V případě, když překážka nezastiňuje spojnici V a P (spojení s přímkou optickou viditelností), je h záporné.



Obr. 3.8 Základní geometrie pro řešení difrakcí na ostré překážce [9]

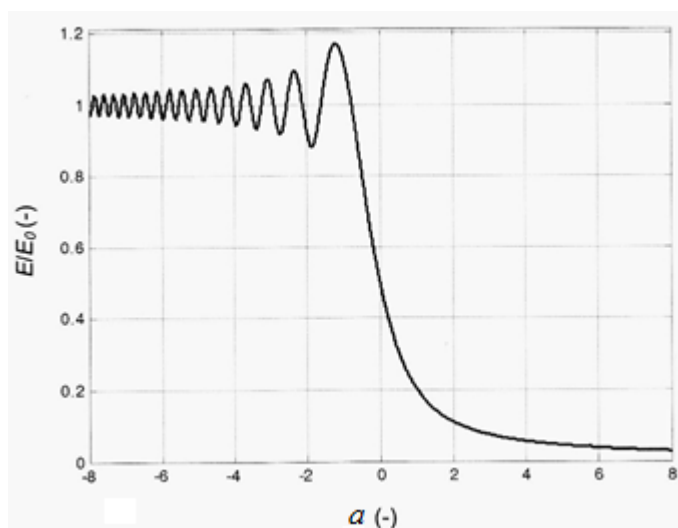
Řešení se vyjádří jako poměr intenzity elektrického pole E v bodě P při zastínění překážkou k intenzitě E_0 v bodě P v případě, když mezi body P a V existuje přímá optická viditelnost:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1+j}{2} \int_a^\infty e^{-j\frac{\pi}{2}s^2} ds \quad (3.18)$$

Integrál je nutno řešit numericky nebo graficky pomocí tzv. Cornouovy spirály.

Pro a jdoucí k $-\infty$ se situace blíží volnému prostoru, zatímco při úplném zastínění překážkou se a rovná ∞ , v tomto případě je pole v bodě P nulové.

Interferenční charakter křivky (Obr. 3.9) pro záporné hodnoty a je způsoben postupným zakrýváním Fresnelových zón, jejichž účinky se navzájem zčásti kompenzují. Při převaze vln se stejnou fází nastává maximum, které je největší na hranici 1. a 2. Fresnelovy zóny. Důležitý je případ prvního průchodu křivky hodnotou $E/E_0 = 1$, který nastává při zastínění 0,6 poloměru 1. Fresnelovy zóny. V tomto případě intenzita elektrického pole v bodě P za překážkou odpovídá hodnotě, která by příslušela případu šíření ve volném prostoru. [9]



Obr. 3.9 Fresnelova difrakce na ostré překážce [9]

3.2.3 Rozptyl

Rozptyl vzniká na určité nehomogenitě nebo objemu s jinými materiálovými parametry než je okolní prostředí. Dopadá-li na částici elektromagnetická vlna, dopadající elektrické pole vybudí pole v tělese (dochází k polarizaci částic) a následné sekundární záření vytváří rozptyl vlny. K rozptylu vlny dochází také při rozptýleném odrazu od nerovného povrchu nebo průchodu vlny překážkou.

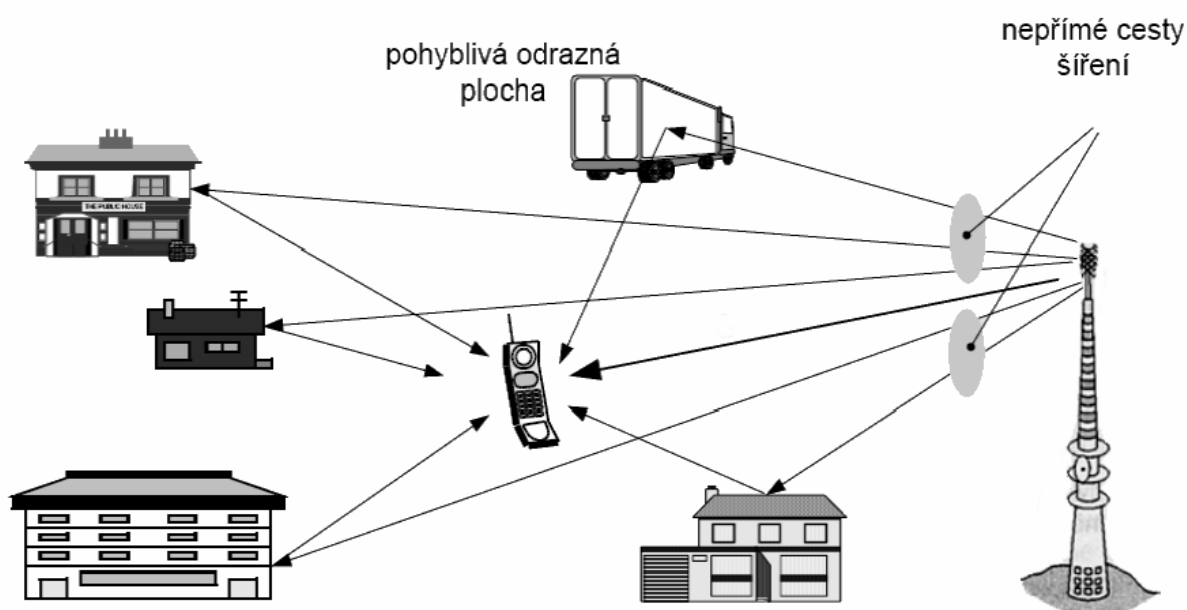
Množství rozptýleného výkonu je možno vyjádřit pomocí efektivní odrazné plochy σ v m^2 podle vztahu:

$$P_S = w_i \sigma(k_i, k_s) \text{ [W]} \quad (3.19)$$

kde jsou: P_S – výkon rozptýlený respektive odražený efektivní odraznou plochou v daném směru, w_i – plošná hustota výkonu dopadající vlny [W/m^2], σ – vodivostní funkce závisující na vektoru intenzity elektrického pole ve směru dopadající vlny k_i a vektoru ve směru rozptýlené vlny k_s .

3.3 Vícecestné šíření signálu

Při dopadu vysílané vlny na velkou vodivou nebo i nevodivou plochu, která má podstatně vyšší rozměry než je vlnová délka vysílané vlny, dochází k jejímu odrazu, lomu, ohybu i rozptylu vln. Vícecestné šíření (multipath propagation) nastává tehdy, když se od vysílací antény k anténě přijímací šíří kromě přímé vlny i další druhotná vlna, která se s přímou vlnou sčítá. Při šíření v zástavbě může být druhotných vln nekonečně mnoho (*Obr. 3.10*). Díky jevům jako je odraz, lom, ohyb i rozptyl vln je poté možné realizovat spojení mezi vysílačem a přijímačem i v případě, kdy mezi nimi neexistuje přímá optická viditelnost.



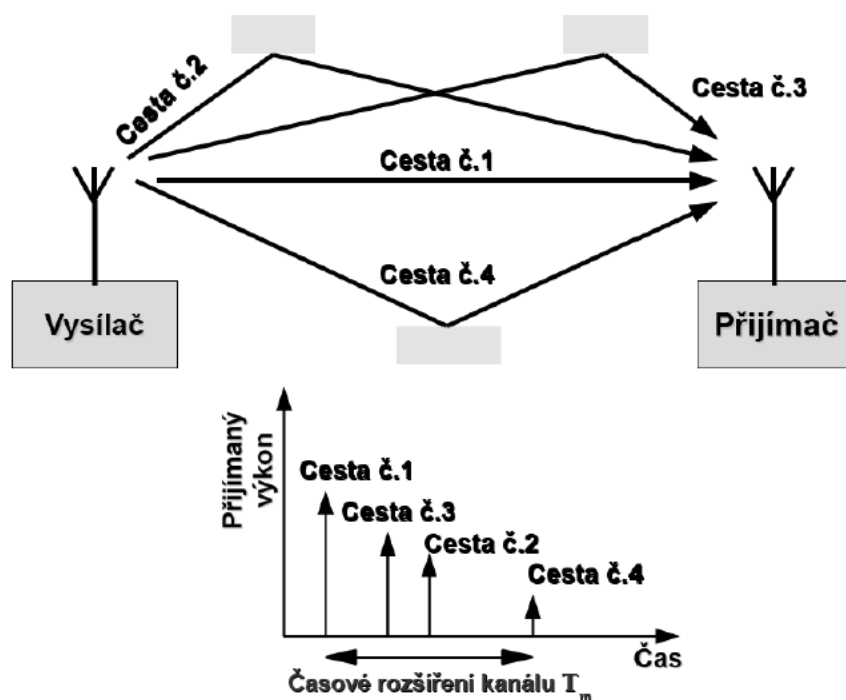
Obr. 3.10 Vícecestné šíření signálu

Při vícecestném šíření v místě příjmu dochází k vektorovému sčítání intenzit pole jednotlivých vln resp. paprsků E_i :

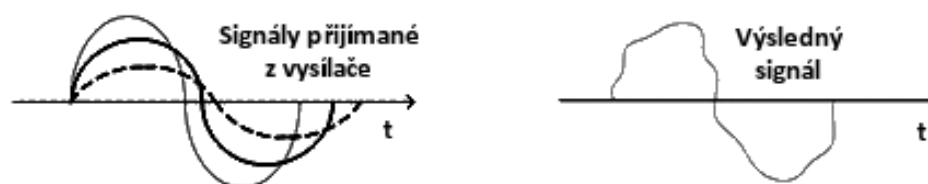
$$E = \sum_i E_i \text{ [V/m]} \quad (3.20)$$

kde E je výsledný vektor intenzity elektrického pole.

Podle počtu odrazů, které vzniknou při vícecestném šíření signálu, jednotlivé signály urazí různou dráhu šíření, a tak přicházejí na přijímací anténu s různou úrovní (amplitudou) a různým zpožděním resp. s různou fází, dochází zde k rozptylu dob zpoždění signálů (*Obr. 3.11*). Všechny složky signálu se v místě příjmu vektorově sčítají, a poté dochází k výraznému kolísání intenzity přijímaného signálu (*Obr. 3.12*).



Obr. 3.11 Časové rozšíření kanálu vlivem vícecestného šíření [11]



Obr. 3.12 Zkreslení přijatého signálu vlivem vícecestného šíření [11]

3.4 Úniky

Útlum, který vznikne šířením vlny mezi vysílací a přijímací anténou, se nazývá únikem. Příčiny ztrát šířením můžou být podle konkrétních podmínek různé např.: ztráty volným prostorem, difrakční ztráty vlivem zastínění překážkou (terén, vegetace, zástavba,...), útlum atmosférickými plyny, ztráty vícecestným šířením, ztráty rozptylem vlivem anomální refrakce, ztráty vlivem změny úhlu odchodu a dopadu vlny, útlum hydrometeory (déšť, kroupy,...).

Náhodné kolísání útlumu šířením se nazývá únik (fading). Některé jevy mohou při šíření vlny způsobit i záporný útlum, který způsobí zlepšení výkonové bilance, což může způsobit vzájemné rušení mezi rádiovými systémy. Podle charakteru je možné rozlišit několik typů úniků, v prostředí zástavby se však nejvíce uplatňují takzvané frekvenčně selektivní úniky.

Frekvenčně selektivní úniky (frequency selective fading, multipath fading) jsou charakterizovány proměnlivým útlumem vzhledem k frekvenčnímu pásmu přenosového kanálu. Příčinou frekvenčně selektivních úniků je vícecestné šíření, kdy se v místě příjmu sčítají minimálně dvě vlny, a to primární a druhotná (odražená), proto se selektivní úniky někdy označují jako interferenční. V případě, že obě vlny mají srovnatelnou amplitudu ale opačnou fázi, dochází k jejich odečtení, tzn. k hlubokému úniku. Za takové situace stačí jen malá změna umístění přijímací antény (v řádu poloviny vlnové délky) a tím dojde k dráhovému rozdílu obou vln a situace úniku se změní. Hloubka úniku (hodnota špičkového útlumu) a jeho poloha na frekvenční ose se může v čase velmi rychle měnit. [9]

3.5 Vliv polarizace na šíření signálu v zástavbě

Polarizace u elektromagnetické vlny, která se šíří prostorem určuje orientaci vektoru elektrického pole vůči zemi. Elektrické pole se indukuje v anténě a umožňuje tak přijímat signál postupující prostorem. Je to jeden z hlavních parametrů při jakémkoli typu vysílání.

Vysílání signálu DVB-T je možné vysílat ve dvou typech polarizace a to buď v polarizaci horizontální anebo polarizaci vertikální. Co se týká rozdílu obou polarizací a jejich šíření v prostředí městské zástavby, tak vysílání v pásmu UHF s vertikální polarizací v prostředí velkých měst přináší výhodu mnohačetných odrazů s menším útlumem a menší degradací úrovně signálu než polarizace horizontální. Tímto vertikální polarizace umožní příjem i v oblasti zastíněné vysokým domem či jinou překážkou s větší pravděpodobností úspěšného příjmu než v případě použití polarizace horizontální. V praxi to znamená, že je možné přijmout signál s vertikální polarizací na pokojovou anténu v místech, kde například není možné použít vnitřní pokojovou anténu s horizontální polarizací. Stejně tak je možné vertikální signál přijímat na venkovní anténu v městské zástavbě nebo v údolí, kde je k dispozici dostatek odraženého signálu od okolních překážek bez výpadků, což v případě příjmu vysílání v horizontální polarizaci za určitých okolností není možné.

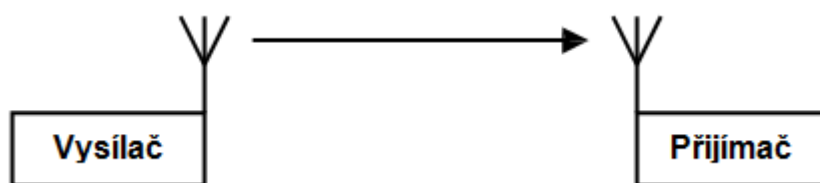
Dominantně používanou polarizací v České republice je polarizace horizontální, vysílání ve vertikální polarizaci bylo zvoleno jen v největších městech a to v Praze a v Brně. U ostatních měst byla ponechána polarizace horizontální, která již byla používána při analogovém televizním vysílání. Horizontální polarizace byla zachována hlavně vzhledem k tomu, aby většina diváků nemusela měnit stávající antény pro příjem televizního signálu.

3.6 Teoretické přenosové kanály pozemní digitální televize

V této části jsou popsány teoretické modely způsobu šíření pozemního televizního signálu, informace byly čerpány z práce [12].

3.6.1 Gaussův kanál

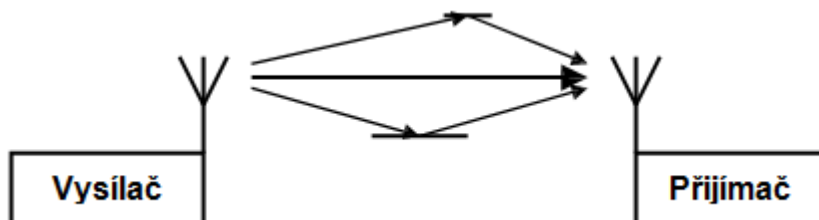
Ideální podmínky příjmu je možno popsat modelem Gaussova kanálu, ten popisuje případ, kdy mezi přijímací a vysílací anténou existuje přímá optická viditelnost, signál přichází k anténě pouze jednou přímou cestou bez jakýchkoliv odrazů. Je tak pouze utlumen a ovlivněn aditivním bílým Gaussovským šumem AWGN (Additive white Gaussian noise), který je generován zejména samotným přijímačem. Tento šum se vyznačuje tím, že výkonová hustota v celém jeho spektru je stejná a pravděpodobnost výskytu amplitud má Gaussovo rozložení. Gaussův kanál poskytuje přijímači nejlepší podmínky příjmu. Způsob šíření signálu Gaussova kanálu znázorňuje *Obr. 3.13*.



Obr. 3.13 Přímá cesta signálu – Gaussův kanál

3.6.2 Riceův kanál

V případě pokud se k přímému signálu přidají další odražené signály, dojde ke značnému zhoršení podmínek příjmu. Vlivem vícecestného šíření signálu způsobeného například odrazy od budov a jiných objektů, dochází ke kolísání intenzity signálu (únikům) a ke vzniku mezisymbolových interferencí. Toto kolísání se v praxi mění vlivem změny prostředí. Způsob šíření signálů Riceovým kanálem znázorňuje *Obr. 3.14*.



Obr. 3.14 Přímý signál a odražené signály – Riceův kanál

Aby bylo možné do modelu kanálu zahrnout zhoršení přenosu vlivem odrazů, je nutné Gaussův kanál rozšířit. I v tomto případě se navíc uplatňuje Gaussovský šum. Tento kanál je tedy v podstatě Gaussovým kanálem doplněným o možnost odrazu signálu od různých překážek. Takovýto případ je v praxi nejrozšířenější. Vícenásobné signály statisticky odpovídají Riceovu rozložení. V případě příjmu signálu DVB-T, pokud překročí doba zpoždění určitou hodnotu, dojde ke zvětšení mezisymbolových interferencí, důsledkem čehož se podstatně zvýší bitová chybovost.

Matematický vztah pro určení požadovaného výkonu pro pozemní vysílání podle standardu DVB-T, který popisuje vliv Riceova kanálu na signál $x(t)$, je možno zapsat jako:

$$y(t) = \frac{\rho_0 \cdot x(t) + \sum_{i=1}^{N_e} \rho_i e^{-j\Theta_{ci}} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i^2}} \quad (3.21)$$

Kde jsou: ρ_0 – zisk přímé cesty signálu, N_e – počet odrazů, ρ_i – zisk cesty i , Θ_{ci} – fázový posun způsobený cestou i , τ_i – doba zpoždění v cestě i .

Riceův faktor K udává poměr výkonu přímého signálu k součtu výkonů všech odražených signálů a je dán vztahem:

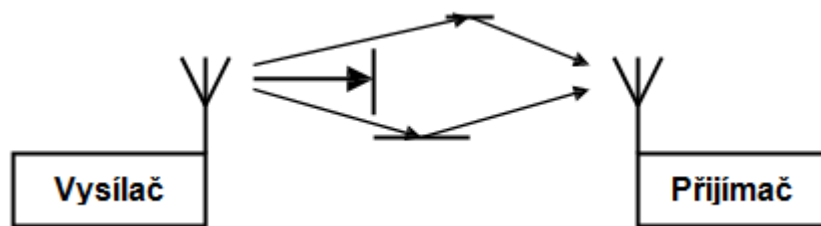
$$K = \frac{\rho_0^2}{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i^2} \quad (3.22)$$

Vliv odrazů lze kompenzovat vhodným nastavením parametrů OFDM a také zvýšením výkonu vysílače. V případě příjmu na střešní pevnou směrovou anténu se jejím nasměrováním vybere hlavní přijímaný signál, tedy přímý signál nebo alespoň odražený signál s největší úrovní.

3.6.3 Rayleighův kanál

Jedná se o případ, který zahrnuje pouze odražené signály, kdy je přímý signál kompletně zastíněn. Případ šíření Rayleighova kanálu je znázorněn na *Obr. 3.15*.

Rayleighův kanál představuje nejhorší podmínky pro příjem. Rozložení odražených signálů odpovídá Rayleighovu rozložení. Rayleighův kanál stejně jako Riceův kanál vyžaduje v porovnání s Gaussovým kanálem vyšší poměr signálu k šumu C/N a to až o 9 dB. Takové zvýšení představuje osminásobné zvětšení vysílacího výkonu pro dosažení stejných hodnot přijímaného signálu.



Obr 3.15 Odražené signály bez přímé cesty – Rayleighův kanál

Matematický vztah pro určení požadovaného výkonu pro Rayleighův kanál, který vznikl úpravou vztahu Gaussova kanálu, ze kterého byl odebrán přenos signálu přímou cestou $\rho_0 x(t)$, je možno zapsat jako:

$$y(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i e^{-j\Theta_{ci}} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i^2}} \quad (3.23)$$

Přijímač je tedy ovlivněn nedostatkem zisku přijímací antény (kolem 10 dB pro pásmo UHF) a zhoršením signálu Rayleighovým kanálem. Další ztráty způsobuje umístění přijímací antény uvnitř budov a to často i v nižších patrech.

3.6.4 Vliv přenosového kanálu na chybovost příjmu

Přítomnost jakéhokoliv množství šumu v rádiovém kanálu DVB-T vede k zhoršení bitové chybovosti při příjmu. Avšak Pomocí Viterbiho dekodéru na straně přijímače lze opravit určité množství chyb na úrovni bitů v závislosti na kódovém poměru zvoleném v konvolučním kodéru na straně vysílače.

Gaussov kanál, přidává k procházejícímu kanálu aditivní bílý Gaussovský šum. Poměr výkonu signálu k šumu C/N je zpravidla měřen na straně přijímače. Poměr závisí zejména na výkonu vysílače a šumové teplotě prostředí. Teoretické minimální poměry C/N za Viterbiho dekodérem pro zdánlivě bezchybný příjem QEF (Quasi Error Free) pro modulace, které jsou používány u systému DVB-T (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) se nachází v Tab. 3.1 [5]. Zdánlivě bezchybný příjem je definován bitovou chybovostí $BER=10^{-11}$, která odpovídá přibližně jedné chybě za jednu hodinu vysílání. Potřebná hodnota BER před Viterbiho dekodérem závisí na zvoleném kódovém poměru C.

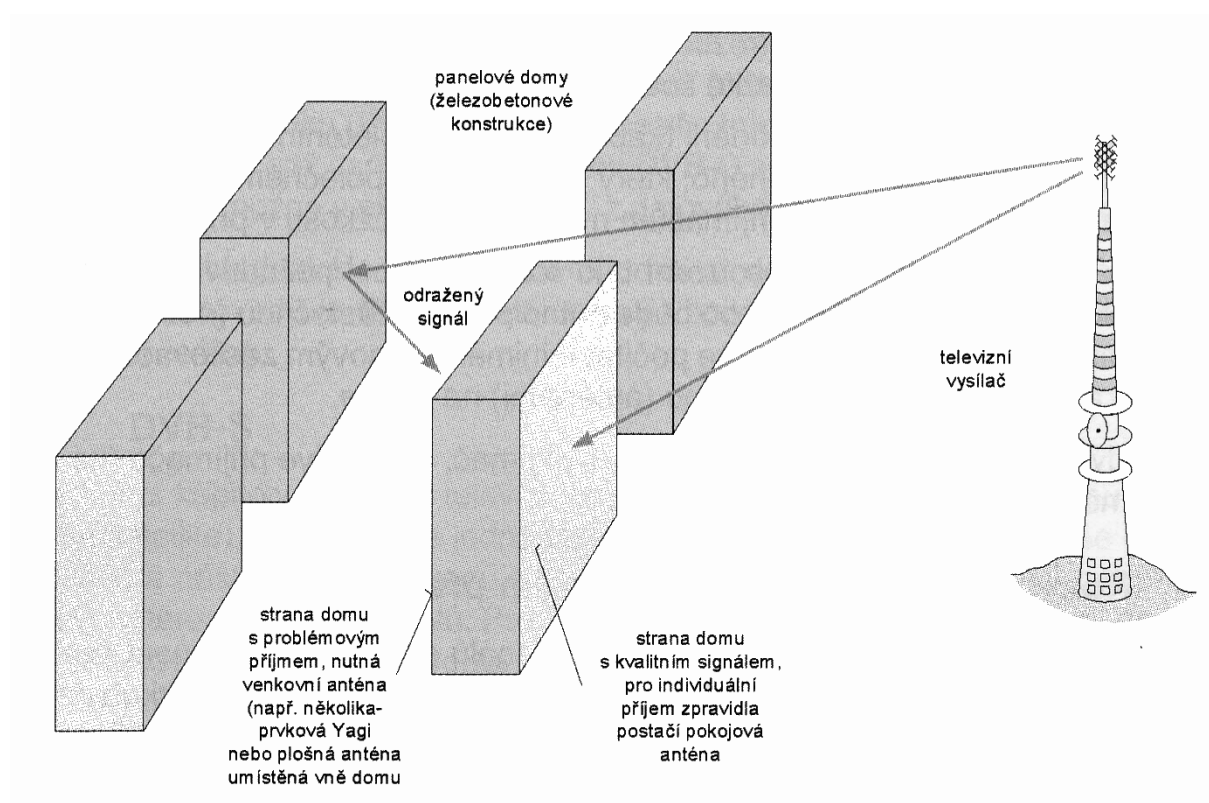
Tab. 3.1 Minimální poměry C/N pro příjem QEF pro nehierarchickou modulaci [5]

Typ modulace	Kódový poměr	C/N [dB]		
		Gaussův kanál	Riceův kanál	Rayleighův kanál
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
	2/3	4,9	5,7	8,4
	3/4	5,9	6,8	10,7
	5/6	6,9	8	13,1
	7/8	7,7	8,7	16,3
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
	2/3	11,1	11,6	14,2
	3/4	12,5	13	16,7
	5/6	13,5	14,4	19,3
	7/8	13,9	15	22,8
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16
	2/3	16,5	17,1	19,3
	3/4	18	18,6	21,7
	5/6	19,3	20	25,3
	7/8	20,1	21	27,9

Minimální poměry C/N se pohybují v širokém rozsahu, od 3 dB pro QPSK s kódovým poměrem 1/2 v Gaussově kanálu po téměř 28 dB pro 64-QAM s kódovým poměrem 7/8 v Rayleighově kanálu. Reálné hodnoty jsou asi 18 dB až 20 dB pro modulaci 64-QAM s kódovým poměrem 2/3 nebo 3/4 [12].

3.7 Problému příjmu signálu DVB-T ve výškových budovách

Při příjmu signálu DVB-T v panelových domech prostřednictvím pokojové antény může v určitých místech docházet k problémům příjmu. Konkrétně je tomu u odvrácených stran výškových budov od televizních vysílačů, kdy se signál k přijímací pokojové anténě musí šířit prostřednictvím odrazů od ostatních budov, tato situace je zobrazena na Obr. 3.16.



Obr. 3.16 Problém příjmu na pokojovou anténu v prostředí panelové zástavby [2]

Při příjmu DVB-T s pokojovou anténou ve výškových budovách mohou nastat tyto případy:

1. Příjem všech multiplexů bude v daném místě možný na pokojovou anténu bez problémů,
2. Příjem na pokojovou anténu bude možný pouze pro část nájemníků, kteří mají své byty na straně přivrácené k televizním vysílačům, nebo nebude možnost přijímat všechny dostupné multiplexy,
3. Příjem na pokojovou anténu nebude možný vůbec.

Pro panelovou zástavbu je typické, že v bytech na straně ve směru příjmu je signál kvalitní, ale na straně odvrácené od vysílače je mnohdy dostupný pouze nekvalitní signál odražený od okolních budov. V takovémto případě pro příjem DVB-T již nestačí pokojová anténa a je nutné použít anténu s přiměřeným ziskem, kterou je potřeba umístit vně bytu (na balkóně), to ale vyžaduje zemnění z důvodu statické elektřiny. Nejlepším řešením v bytech s problémovým příjmem signálu DVB-T na pokojovou anténu se jeví příjem pomocí tzv. společné televizní antény (STA) umístěné na střeše domu, kdy jsou rozvody této STA přivedeny do každého bytu.

4 Příprava před praktickým měřením parametrů televizního signálu

V této kapitole jsou popsány parametry vysílačů, které pokrývají území města Ostravy digitálním televizním signálem, složení a parametry multiplexů, které jsou těmito televizními vysílači šířeny, dále je zde zmínka o legislativních náležitostech měření parametrů signálu DVB-T a parametry, které je potřeba měřit z hlediska posouzení kvality příjmu.

4.1 Vysílače DVB-T pokrývající území města Ostravy

Na území města Ostravy se na pokrytí digitálním televizním signálem podílí celkem 5 televizních vysílačů, informace o těchto vysílačích jsou uvedeny v *Tab. 4.1* až *4.5* a fotografie jednotlivých vysílačů jsou uvedeny na *Obr. 4.1* až *4.5* a jejich umístění na mapě zobrazuje *Obr. 4.6*. Mapy pokrytí každého z vysílačů jsou uvedeny v *příloze A*. Informace o vysílačích byly čerpány z [13].

4.1.1 Vysílač Hošťálkovice



Obr. 4.1 Vysílač Hošťálkovice [14]

Tab. 4.1 Parametry vysílače Hošťálkovice

GPS Souřadnice	LON: 18°12'45 LAT: 49°51'41
Nadmořská výška	287 m n. m.
Výška vysílače	184 m
Vysílací výkon	100 kW
Polarizace	Horizontální
Vysílané multiplexy	MUX 1, MUX 2, MUX 3
Vysílací kanály	37, 48, 54

4.1.2 Vysílač Hladnov



Obr. 4.3 Vysílač Hladnov [15]

Tab. 4.2 Parametry vysílače Hladnov

GPS Souřadnice	LON: 18°18'19", LAT: 49°50'51"
Nadmořská výška	265 m n. m.
Výška vysílače	44 m
Vysílací výkon	10 kW
Polarizace	Horizontální
Vysílané multiplexy	MUX 1, MUX 2, MUX 3
Vysílací kanály	37, 48, 54

4.1.3 Vysílač Lanová



Obr. 4.2 Vysílač Lanová [16]

Tab. 4.3 Parametry vysílače Lanová

GPS Souřadnice	LON: 18°18'32", LAT: 49°50'44"
Nadmořská výška	274 m n. m.
Výška vysílače	60 m
Vysílací výkon	10 kW
Polarizace	Horizontální
Vysílané multiplexy	MUX 4, MUX 7
Vysílací kanály	38, 45

4.1.4 Vysílač Lysá hora



Obr.4.4 Vysílač Lysá hora [17]

Tab. 4.4 Parametry vysílače Lysá hora

GPS Souřadnice	LON: 18°26'56", LAT: 49°32'47"
Nadmořská výška	1323 m n. m.
Výška vysílače	78 m
Vysílací výkon	25 kW
Polarizace	Horizontální
Vysílané multiplexy	MUX 1, MUX 2
Vysílací kanály	37, 54

Televizní vysílače Hošťálkovice, Hladnov a Lysá hora vysílají své multiplexy na stejných kanálech (kmitočtech) a tvoří tak spolu jednofrekvenční vysílací síť SFN.

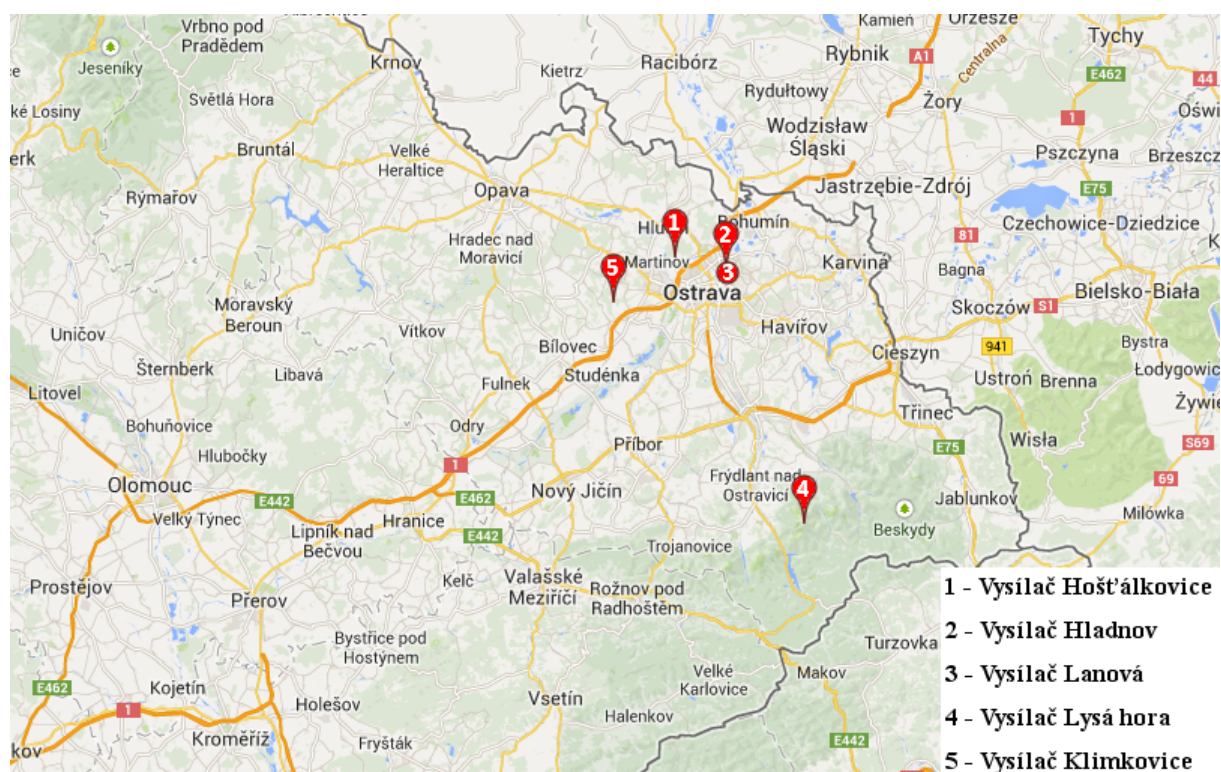
4.1.5 Vysílač Klimkovice



Obr. 4.5 Vysílač Klimkovice [18]

Tab. 4.5 Parametry vysílače Klimkovice

GPS Souřadnice	LON 49°48'26", LAT 18°5'56"
Nadmořská výška	353 m n. m.
Výška vysílače	10 m
Vysílací výkon	2 kW
Polarizace	Horizontální
Vysílané multiplexy	Regionální síť 2
Vysílací kanály	59



Obr. 4.6 Umístění vysílačů pokrývajících území Ostravy

4.2 Dostupné multiplexy

Multiplexem je myšleno seskupení televizních programů vysílaných v jednom frekvenčním kanálu (8 MHz). Parametry jednotlivých multiplexů dostupných na území města Ostravy jsou uvedeny v Tab. 4.6 a programové složení těchto multiplexů je uvedeno v Tab. 4.7.

Tab. 4.6 Parametry vysílaných multiplexů na území Ostravy

	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
Šířka pásma	8 MHz	8 MHz	8 MHz	8 MHz	8 MHz
Vysílací mód	8K	8K	8K	8K	8K
Ochranný interval	1/4	1/4	1/8	1/8	1/16
Kódový poměr	2/3	2/3	3/4	2/3	5/6
Modulace	64-QAM	64-QAM	64-QAM	64-QAM	64-QAM
Nehierarchický mód	ano	ano	ano	ano	ano
Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s	19,10 Mbit/s	24,88 Mbit/s	22,17 Mbit/s	29,30 Mbit/s
Vysílací kanál	54	37	48	45	38
Vysílací kmitočet	738 MHz	602 MHz	690 MHz	666 MHz	610 MHz

Multiplex číslo 7 bývá označován jako Regionální síť číslo 7, ale v této práci bude použito pouze označení multiplex 7 (MUX 7). K multiplexu regionální sítě číslo 2, která je vysílána vysílačem Klimkovice, společnost BTV provozující tento multiplex neuvádí podobné informace, jako jsou uvedeny u ostatních multiplexů, je uveden pouze vysílací kanál 59 (kmitočet 778 MHz). Při měřeních parametrů televizního signálu v této práci nebyly měřeny parametry pro Regionální síť číslo 2.

Tab. 4.7 Programové složení multiplexů dostupných na území Ostravy

Multiplex	Programové složení
MUX 1	ČT1, ČT2, ČT24, ČT sport
MUX 2	Nova, Prima family, Barrandov, Nova cinema, Prima COOL
MUX 3	Prima love, Očko, Očko gold, Prima ZOOM, ACTIVE, Šlágr TV, ČT :D/ČT Art
MUX 4	Pohoda, Telka, Fanda, Smíchov, Inzert TV
MUX 7	ČT1 HD, ČT2 HD, ČT24, ČT sport HD, ČT :D/ČT Art, Retro, Pohoda - Rebel
Regionální síť 2	LTV plus, NOE

4.3 Měření signálu DVB-T – legislativa

Při měření parametrů signálu DVB-T na území České republiky je potřeba dodržovat platnou vyhlášku č. 163/2008 Sb. o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání, která byla vydána 30. dubna 2008 Českým telekomunikačním úřadem [20]. Při měřeních pro tuto diplomovou práci bylo z této vyhlášky vycházeno a byla dodržována. Výňatek z této vyhlášky pro měření signálu DVB-T na zvoleném území, který specifikují § 8, 9 a 12 je uveden v příloze B.

4.4 Parametry pro posouzení kvality přijatého signálu

4.4.1 Přijímací úroveň

Hodnoty přijímací úrovně jsou udávány v dBμV. Příliš malá úroveň, ale i příliš vysoká úroveň signálu může způsobit zvýšení bitové chybovosti a s tím spojené problémy příjmu. Hodnota minimální přijímací úrovně se v praxi doporučuje od 45 dBμV (-62 dBm). V souvislosti s instalací anténních rozvodů je k této hodnotě při výpočtech potřeba zahrnout zisk antény a útlum anténního přívodu. Maximální doporučená hodnota úrovně by se v praxi měla pohybovat do 70 dBμV (-37 dBm). Pokud by byla úroveň signálu větší než uvedené maximum, mohla by způsobit přebuzení vstupních částí přijímačů, kdy dochází ke vzniku tzv. intermodulačních produktů, které způsobují zkreslení signálu, což se v případě digitálního signálu projeví zvětšenou bitovou chybovostí, která může vést až k celkové ztrátě obrazu. [19]

4.4.2 Modulační chybovost – MER

Parametr modulační chybovosti MER (Modulation Error Ratio) popisuje kvalitu přijatého signálu z hlediska kvality digitální modulace. Popisuje migraci koncového bodu modulačního vektoru, který je způsoben vlastnostmi přenosového kanálu (šum). Čím je migrace menší, tím je hodnota MER vyjádřená v dB větší. To znamená, že kvalita přenosového kanálu se zvyšuje. Výsledná hodnota MER na přijímací straně závisí na hodnotě MER na vysílací straně. Hodnota MER má vliv na velikost výsledné hodnoty bitové chybovosti. Velikost MER závisí na typu použité modulace. Minimální požadovaná hodnota pro modulaci 64-QAM, používanou u DVB-T v České republice je 22 až 24 dB. [21] Podle vyhlášky č. 163/2008 Sb. je obecně doporučována hodnota MER pro bezporuchový příjem ≥ 22 dB.

4.4.3 Bitová chybovost – BER

Bitová chybovost BER (Bit Error Ratio) je jedním z nejdůležitějších parametrů při vyhodnocování kvality digitálního signálu. Je definována jako poměr počtu chybně přijatých symbolů k celkovému počtu vyslaných symbolů za určitou dobu měření. Měření chybovosti BER se provádí před Viterbiho dekodérem, kde se měří chybovosti přenášeného datového toku před korekcí CBER (Channel Bit Error Rate) nebo za Viterbiho dekodérem, kde se měří chybovost po korekci osamocených chyb v datovém toku VBER (Viterbi Bit Error Rate). Pro účely měření kvality signálu digitálního televizního vysílání se obvykle měří pouze hodnota BER za Viterbiho dekodérem.

Jedná se o jeden z rozhodujících parametrů pro posouzení kvality příjmu. Přítomnost jakéhokoliv množství šumu v rádiovém kanálu DVB-T vede k zhoršení bitové chybovosti při příjmu. Pomocí Viterbiho dekodéru na straně přijímače lze opravit určité množství chyb na úrovni bitů vzávislosti na kódovém poměru zvoleném v konvolučním kodéru na straně vysílače. Podle vyhlášky je referenční hodnota VBER pro bezporuchový příjem $2E-4$, tj. 2 chybné bity z každých 10000 přijatých bitů. Pro optimální příjem je lepší, když je tato hodnota alespoň o 2 řády nižší, tedy $2E-6$. [21]

4.4.4 Subjektivního hodnocení kvality (Qfactor)

Podle vyhlášky č. 163/2008 Sb. je při subjektivním hodnocení kvality nutno sledovat jeden program z každého multiplexu po dobu 3 minut a podle kvality obrazu a zvuku určit subjektivní hodnocení kvality. Hodnocení se uděluje ve třech stupních Q1 až Q5.

Q1 – kvalita špatná, časté výpadky, přijímač se nezaskychuje.

Q3 – kvalita dobrá, jednotlivý mžikový výpadek.

Q5 – kvalita výborná, nepozorovatelné závady v kvalitě obrazu a zvuku.

5 Praktické měření kvalitativních parametrů televizního signálu ve vytipovaných oblastech

Měření parametrů signálu DVB-T k ověření vlivů zástavby na jeho šíření byla provedena celkem ve čtyřech částech. Prvním měřením bylo měření v místech u rodinných domů lokality Ostrava-Poruba, kde již byla známá místa nevhodná pro příjem televizního signálu. Druhé měření se uskutečnilo na výškové budově kolejí VŠB-TUO, kde byl pozorován vliv výškového a pozičního umístění přijímací antény a také vliv nově postavené budovy v těsné blízkosti této budovy na příjem signálu DVB-T. Třetí měření proběhlo v lokalitách Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice, kde byla vytipována místa, u kterých neexistovala přímá viditelnost na televizní vysílač vlivem zástavby výškových panelových budov bránící této přímé viditelnosti a naopak místa s přímou viditelností na vysílače a byl pozorován rozdíl při příjmu signálu DVB-T mezi těmito místy. Čtvrtým měřením bylo měření s pokojovou anténou ve dvou panelových domech města Ostravy a byl pozorován vliv zástavby na příjem signálu DVB-T a také vhodnost použití tohoto typu antény pro televizní příjem v panelových domech. Několik fotografií z měření je umístěno v *příloze E*.

K měření v prvních třech případech byla použita směrová anténa TELEVES 1044 umístěná na anténním stožáru SQT10HP ve výšce 10 m nad zemí (podle vyhlášky č. 163/2008 Sb.), parametry této antény a stožáru jsou popsány v *příloze C*. U měření s pokojovou anténou byla použita anténa Vivanco TVA 301 se zesílením 40 dB. Měření parametrů signálu DVB-T bylo provedeno pomocí přenosného DVB analyzátoru SEFRAM 7866HD, který umožňuje měření všech důležitých parametrů digitálního televizního vysílání.

5.1 Metodika měření

U prvního měření, kdy byla pro měřicí místa dopředu známá umístění definována souřadnicemi GPS, byla nejdříve ověřována správná pozice všech měřicích míst pomocí GPS navigace v mobilním telefonu. Správné nasměrování měřicí antény na jednotlivé vysílače, na místech kde k nim neexistovala přímá viditelnost, bylo zajištěno pomocí mobilní internetové aplikace *Dvbmap.eu*. Pokud i při nasměrování antény na nejbližší vysílač nebyla naměřena dostatečná úroveň signálu pro kvalitní příjem ($\geq 45\text{dB}\mu\text{V}$), bylo zkoušeno nasměrování antény na další vysílače, které vysílají shodný multiplex (jednofrekvenční síť SFN). Pokud i po vyzkoušení nasměrování přijímací antény na všechny z dostupných vysílačů nebyla úroveň signálu dostatečná, tak bylo zkoušeno nasměrování přijímací antény na blízké budovy, od kterých by se mohl signál odrážet a zlepšila by se tak přijímaná úroveň. Takovýto příjem se sice podle vyhlášky č. 163/2008 Sb. nepovažuje za stabilní, ale v praxi se i takovýto příjem často využívá a dobře se osvědčuje. Nakonec byla

zaznamenána nejlepší možná hodnota úrovně digitálního televizního signálu a k ní příslušející hodnoty ostatních kvalitativních parametrů (MER a VBER) v daném místě. Po změření všech parametrů, pro vyhodnocení kvality signálu, bylo ještě potřeba sledovat jeden program z každého multiplexu po dobu 3 minut a poté vyhodnotit subjektivní kvalitu obrazu.

5.2 Měření v lokalitě Ostrava-Poruba

Jako první z lokalit pro měření parametrů signálu DVB-T, kde dochází k jeho ovlivnění vlivem zástavby, byla zvolena městská část Ostrava-Poruba. V této lokalitě již bylo provedeno měření úrovně signálu DVB-T v roce 2009 pracovníky Katedry telekomunikační techniky VŠB-TUO při zpracování projektu „*Kvalita digitálního televizního vysílání DVB-T na území města Ostravy*“ [19]. Tato lokalita byla při zpracovávání projektu vybrána proto, poněvadž se zde vyskytovaly problémy již u příjmu analogového pozemského televizního vysílání. Problémy s příjmem televizního signálu, jsou zde způsobeny dvěma hlavními důvody. Prvním důvodem je to, že se jedná o lokalitu, kde se vyskytují rodinné domy, u kterých okolní zástavba několikapodlažních bytových domů brání přímému šíření signálu z televizních vysílačů. Druhým důvodem zhoršeného příjmu televizního signálu je také terénní profil této lokality, kdy se některá místa proměřované oblasti nachází zhruba 20 m pod úrovní okolní zástavby.

Tímto měřením je díky předchozím naměřeným hodnotám úrovní signálů z roku 2009 zjištěno, jakým vývojem prošla digitální televizní síť během 4 let do roku 2013 a jak tento vývoj ovlivnil úroveň přijímaného signálu v této pro příjem signálu problémové lokalitě. Také zde jsou uvedeny důvody, díky kterým došlo ke změně oproti předchozím naměřeným hodnotám.

Měření parametrů signálu DVB-T v lokalitě Ostrava-Poruba bylo provedeno ve dnech 27. 10. a 20. 11. 2013. Na rozdíl od měření, která byla provedena v rámci projektu, byly při těchto měřeních zaznamenány všechny potřebné parametry pro vyhodnocení kvality televizního příjmu (MER, VBER, Qfactor) a také byly oproti předchozím měřením navíc změřeny parametry signálu dalších dvou multiplexů (MUX 4 a 7), které v roce 2009 ještě nebyly vysílány.

5.2.1 Přesné umístění měřících míst

Při měřeních úrovně signálu DVB-T v rámci projektu v roce 2009 bylo proměřeno celkem 14 měřících míst. Avšak při měření v roce 2013 již nebylo možné proměřit úplně všechna místa z předchozího měření, protože na měřící místo č. 14 na ulici Schované (LAT 49°49'31,9", LON 18°8'46,8") nebyl možný přístup. Nyní už je na příjezdové cestě k této ulici umístěna dopravní značka zákazu vjezdu doplněna o popisek „soukromý pozemek“. Toto místo tedy bohužel nemohlo

být proměřeno a muselo být vynecháno. Přesné umístění měřících míst se souřadnicemi GPS je uvedeno v Tab. 5.1 a měřící místa jsou také zobrazena na mapě na Obr. 5.1.

Tab. 5.1 Přesné umístění měřících míst Ostrava-Poruba

Číslo měření	Místo měření	LAT	LON
1	ul. Záhumenní	49°49'9,5"	18°10'20"
2	ul. Záhumenní	49°49'16"	18°9'47,7"
3	ul. Splavní	49°49'21"	18°9'41"
4	ul. Splavní	49°49'21,3"	18°9'55"
5	ul. V Zahradách	49°49'26,5"	18°9'45,7"
6	ul. Nad Porubkou	49°49'22"	18°10'15"
7	ul. Nábřeží SPB	49°49'31,2"	18°9'44,6"
8	ul. V Zahradách	49°49'24,7"	18°9'19,6"
9	ul. Rekreční	49°49'26,4"	18°9'1,6"
10	ul. V Zahradách	49°49'42"	18°9'6,5"
11	ul. Výletní	49°49'36,4"	18°8'58,95"
12	ul. V Zahradách	49°49'50,6"	18°9'0,2"
13	ul. Záhumenní	49°49'19,3"	18°9'6"



Obr. 5.1 Mapa umístění měřících míst Ostrava-Poruba

5.2.2 Hodnoty naměřených parametrů

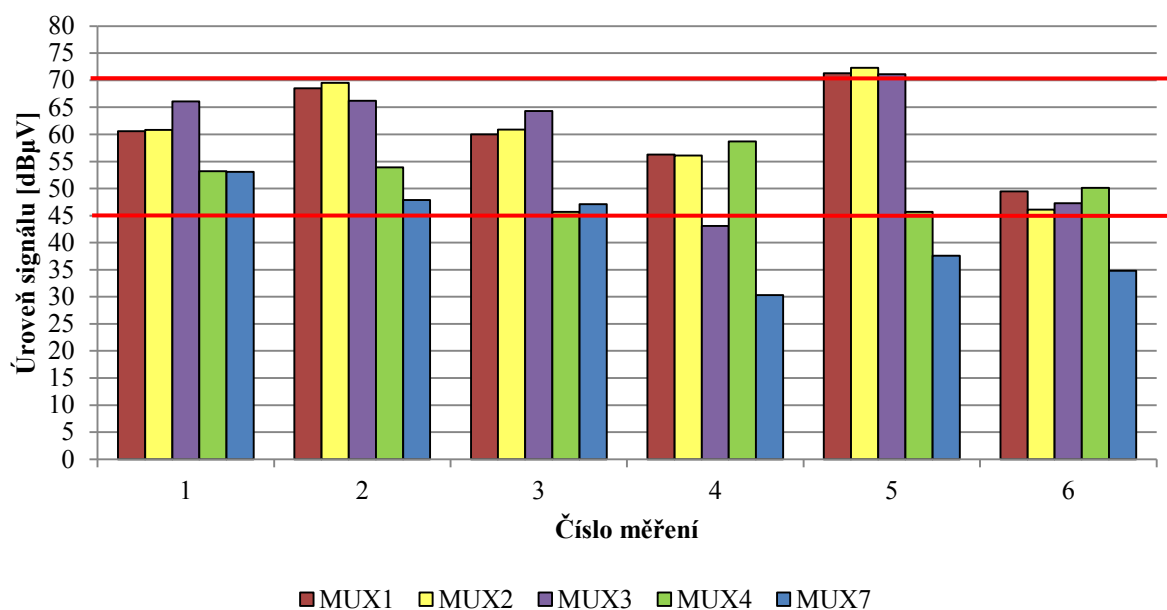
Přijímací úroveň

Naměřené hodnoty úrovně pro jednotlivá měřicí místa jsou uvedeny v Tab. 5.2.

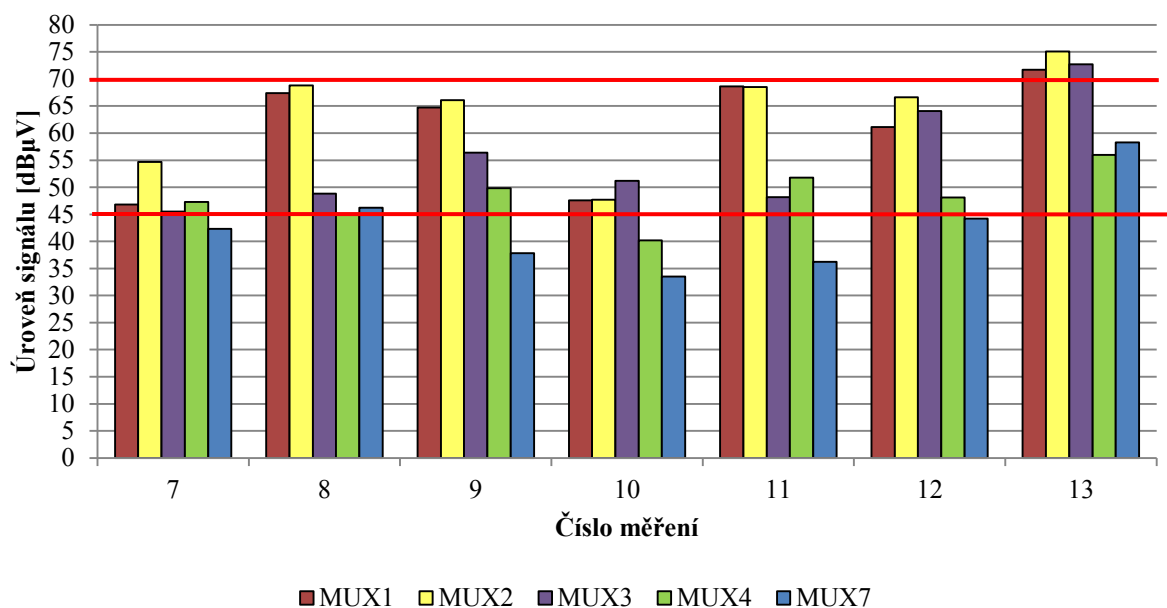
Tab. 5.2 Naměřené hodnoty přijímací úrovně v lokalitě Ostrava-Poruba, (šedou barvou jsou označeny úrovně $\leq 45 \text{ dB}\mu\text{V}$ a $> 70 \text{ dB}\mu\text{V}$)

Číslo měření	Úroveň signálu [dB μ V]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
1	60,6	60,8	66,1	53,2	53,1
2	68,5	69,5	66,2	53,9	47,9
3	60	60,9	64,3	45,7	47,1
4	56,3	56,1	43,1	58,7	30,3
5	71,3	72,3	71,1	45,7	37,6
6	49,5	46,1	47,3	50,1	34,8
7	46,8	54,7	45,5	47,3	42,3
8	67,4	68,8	48,8	45,1	46,2
9	64,7	66,1	56,4	49,8	37,8
10	47,6	47,7	51,2	40,2	33,5
11	68,6	68,5	48,2	51,8	36,2
12	61,1	66,6	64,1	48,1	44,2
13	71,7	75,1	72,7	56	58,3

Pro přehlednější zobrazení naměřených úrovní byly vytvořeny sloupcové grafy úrovní signálů jednotlivých multiplexů pro jednotlivá měřicí místa (Obr. 5.2 a 5.3). Doporučená minimální a maximální úroveň signálu (45 – 70 dB μ V) je vyznačena červenou čarou. Z tabulky i ze zobrazeného sloupcového grafu je patrné, že v některých místech i přes veškerou snahu a směřování antény do všech směrů, nebylo možné zachytit vysílané multiplexy o doporučené minimální úrovni signálu 45 dB μ V.



Obr. 5.2 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T v lokalitě Ostrava-Poruba měřící místa 1 až 6



Obr. 5.3 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T v lokalitě Ostrava-Poruba měřící místa 7 až 13

Z naměřených hodnot úrovní je možné vyhodnotit, že příliš nízká úroveň byla naměřena v jednom případě pro MUX 3 a také v jednom případě pro MUX 4. U MUX 3 se měřící místo č. 4 nacházelo v místě, které opravdu nebylo příliš ideální pro příjem televizního signálu. Jednalo se o místo dosti nízko výškově posazené (pod kopcem) a navíc se nacházelo v místě, před kterým jsou

postaveny vysoké domy a také nedaleký kostel. To, že ostatní dva multiplexy 1 a 2 měly v tomto místě o hodně lepší hodnoty přijímané úrovně, je způsobeno tím, že úroveň pro tyto dva multiplexy byla naměřena z vysílače Lysá hora, kdežto MUX 3 byl přijímán z vysílače Hošťálkovice. Na více měřicích místech (konkrétně měřicí místa č. 2, 3 a 9) se vyplatil příjem signálu z vysílače Lysá hora, který je sice vysílačem nejvzdálenějším, ale zato je z něj v těchto místech možný příjem signálu bez útlumu způsobeného odrazy při šíření signálu prostředím husté zástavby.

Nepříznivá situace příjmu byla také u MUX 4 v měřicím místě č. 10, kde se toto místo nacházelo za kopcem a navíc se ve všech směrech v přímém směru k vysílači vyskytovala překážka ve formě zástavby a také se v bezprostřední vzdálenosti nacházela malá zalesněná oblast s vysokými stromy.

V některých měřicích místech se nejlépe uplatňoval příjem signálu DVB-T odrazem od okolních výškových budov. Konkrétně v měřicích místech č. 5, 7 a 8 se při měřeních nejlépe uplatňoval příjem odrazem od budovy Domova sester (LAT 49°49'36,634", LON 18°9'40,252"), v měřicím místě č. 1 se zase uplatnil nejlepší příjem signálu odrazem od kovové střechy věže u porubského oblouku (LAT 49°49'36,634", LON 18°9'40,252"). Tímto bylo potvrzeno, že nejlepší příjem signálu nemusí být vždy jen při přímém nasměrování antény na vysílač, ale také při odrazu od vyšších budov s dobře vodivým povrchem.

Co se týká hodnocení naměřených hodnot pro MUX 7, tak zde situace nebyla příznivá ve většině měřicích míst (v osmi ze třinácti), kdy nebylo dosaženo minimální úrovně pro kvalitní příjem DVB-T. MUX 7 a MUX 4 jsou vysílány ze stejného vysílače se stejným vysílacím výkonem, avšak důvodem pro který je na většině míst u MUX 7, tak nízká úroveň signálu, je horší ochranný interval než je tomu u MUX 4 (namísto 1/8 je 1/16). Tím pádem je výsledný signál v místě příjmu více ovlivněn odrazy, protože jsou při skládání signálů zahrnuty i signály s nízkou úrovní, šířící se větším počtem odrazů od překážek, které pak degradují výslednou úroveň signálu. Také je zde možné najít spojitost s použitým kmitočtem a vlivem zástavby a terénu, na šířící se signál. Kanál 38, na kterém je vysílán MUX 7 má kmitočet 610 MHz a je po cestě více tlumen, než je tomu u signálu MUX 4 vysílaném na kanálu 45 o větším použitém kmitočtu 666 MHz. Prostřednictvím MUX 7 jsou vysílány jen dva programy, které se nevyskytují v žádném jiném multiplexu. Zbytek programů je vysílán i v jiných multiplexech, v tomto multiplexu jsou však vysílány ve vysokém rozlišení HD. Diváci tedy o tyto programy neprijdou, přijdou pouze o jejich kvalitu.

Příliš vysoká úroveň (> 70 dB μ V) byla naměřena jen na dvou měřicích místech (měřicí místa č. 5 a 13), pro multiplexy 1 až 3. Avšak tyto zvýšené úrovně jen lehce překračovaly hranici nad 70 dB μ V a tudíž by tato vyšší úroveň ještě nepůsobila nijak rušivě na vstupní části přijímačů.

Parametr MER

Naměřené hodnoty parametru MER jsou uvedeny v Tab. 5.3.

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty MER v lokalitě Ostrava-Poruba, (šedou barvou jsou označeny nevyhovující hodnoty MER <22 dB)

Číslo měření	MER [dB]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
1	32,3	33	30,6	26	29,1
2	33,6	33,6	33,8	24,5	24,3
3	33	32,2	33,7	28,4	24,6
4	31,1	43,3	14,8	26,5	-
5	33,4	32,5	33,1	23,3	15,5
6	26,7	28,5	23,8	20,5	-
7	19	22,3	19,5	16,6	20,5
8	34,1	33,7	23,8	18,5	22,9
9	34,8	32,9	31,2	20,6	14,1
10	20,9	15,1	18,1	15,8	-
11	31,5	28,7	33,8	18,4	-
12	34,5	33	19,9	23,6	20,3
13	34,7	34,2	34,2	30,4	31,9

Dle vyhlášky č. 163/2008 Sb. je doporučená hodnota MER pro bezporuchový televizní příjem ≥ 22 dB. Hodnota MER nižší než 22 dB byla naměřena na poměrně velkém počtu měřicích míst. Obvykle byla nízká hodnota MER spojena s nižší naměřenou úrovní signálu. V některých případech, kdy nebyla dostatečně velká úroveň přijímaného signálu, přístroj nebyl schopen vyhodnotit měřené hodnoty MER. Nicméně snížená hodnota MER se ve většině případů neprojevila na snížení kvality sledovaných programů (viz. Subjektivní hodnocení kvality) a programy byly sledovatelné bez jakýchkoliv chyb, jako jsou trhání obrazu a zvuku. Snížená hodnota parametru MER ovlivňovala kvalitu sledování televize jen při opravdu nízkých hodnotách úrovně signálu.

Parametr VBER

Naměřené hodnoty parametru VBER jsou uvedeny v *Tab. 5.4*.

Tab. 5.4 Naměřené hodnoty VBER v lokalitě Ostrava-Poruba, (šedou barvou jsou označeny nevyhovující hodnoty VBER $>2E-4$)

Číslo měření	VBER				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
1	<3E-6	<5E-6	<9E-6	<1E-6	<2E-6
2	<5E-6	<9E-6	<9E-6	<5E-6	<1E-6
3	<1E-6	<2E-6	<1E-6	<3E-6	<9E-6
4	<2E-6	<2E-6	<2E-6	<2E-6	-
5	<9E-7	<5E-6	<5E-5	<2E-6	<5E-4
6	<5E-6	<9E-6	<1E-5	<2E-6	-
7	<9E-7	<2E-6	<9E-5	<2E-6	<3E-6
8	<9E-6	<5E-6	<3E-6	<2E-6	<3E-6
9	<1E-5	<9E-6	<3E-6	<9E-6	<3,1E-4
10	<5E-6	<9E-6	<9E-6	<5E-6	-
11	<9E-6	<5E-6	<5E-6	<2E-6	-
12	<5E-6	<9E-6	<5E-6	<9E-6	<5E-5
13	<9E-7	<1E-6	<2E-6	<9E-6	<9E-6

Naměřené hodnoty bitové chybovosti byly v naprosté většině případů v pořádku až na problémový MUX 7. Je zde patrné, že i při nižších naměřených úrovních signálu a zhoršených hodnotách parametru MER byla téměř na všech místech chybovost minimálně o řád lepší než je doporučovaná hodnota pro bezporuchový příjem podle vyhlášky č. 163/2008 Sb. Horší nebo dokonce nezměřené hodnoty chybovosti VBER u MUX 7 korespondují s tím, že v daných místech byla naměřena velmi nízká úroveň televizního signálu.

Subjektivní hodnocení kvality

Jako posledním vyhodnocovaným parametrem byl parametr subjektivního hodnocení kvality programů sledovaných na obrazovce měřicího přístroje. Hodnocení daných multiplexů pro všechna měřicí místa je uvedeno v *Tab. 5.5*.

Tab. 5.5 Naměřené hodnoty Subjektivního hodnocení kvality v lokalitě Ostrava-Poruba, (šedou barvou je označena nevyhovující kvalita)

Číslo měření	Qfactor				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
1	Q5	Q5	Q5	Q5	Q5
2	Q5	Q5	Q5	Q5	Q5
3	Q5	Q5	Q5	Q5	Q5
4	Q5	Q5	Q3	Q5	Q1
5	Q5	Q5	Q5	Q5	Q1
6	Q5	Q5	Q5	Q5	Q1
7	Q5	Q5	Q5	Q3	Q3
8	Q5	Q5	Q5	Q5	Q5
9	Q5	Q5	Q5	Q5	Q1
10	Q5	Q3	Q5	Q3	Q1
11	Q5	Q5	Q5	Q5	Q1
12	Q5	Q5	Q5	Q5	Q3
13	Q5	Q5	Q5	Q5	Q5

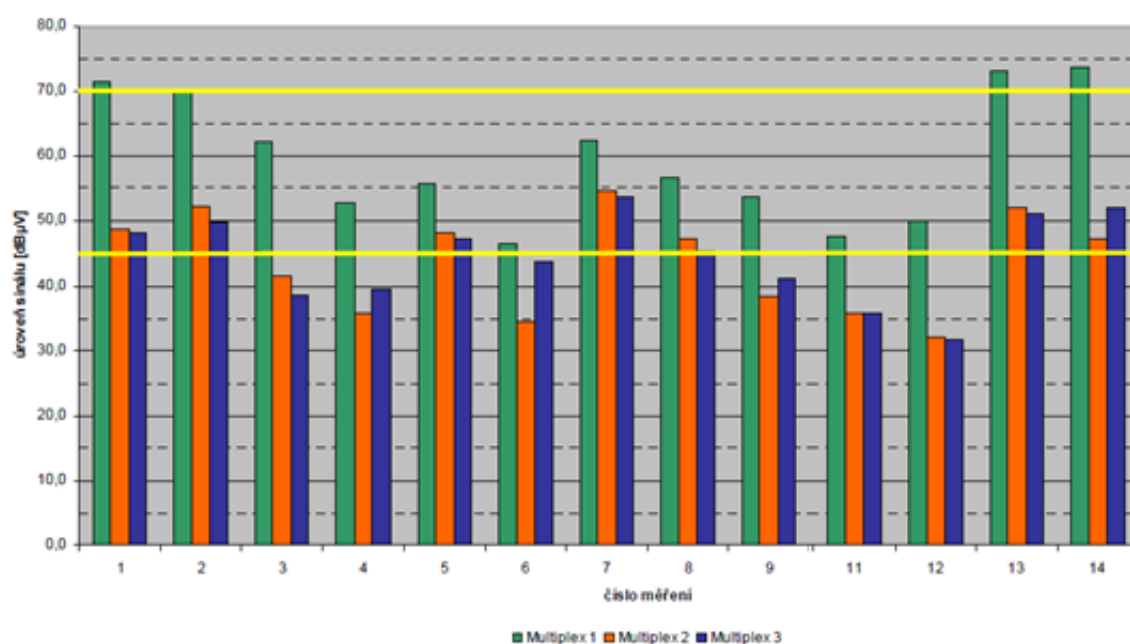
Většina sledovaných programů měla při jejich sledování výbornou kvalitu (Q5). Zhoršená kvalita obrazu ve formě občasného trhání obrazu a zvuku byla zaznamenána celkem v šesti případech, kdy se jednalo o místa s nižší naměřenou úrovní signálu a zároveň s nižší hodnotou parametru MER než je doporučená hodnota. Konkrétně u míst, kde byla hodnota parametru MER nižší než 18 dB.

U MUX 7 v pěti případech nebylo vůbec možné přehrát televizní programy. Měřicí přístroj v módu přehrávání televize jen ohlásil chybové upozornění, že se vyskytuje problém se synchronizací.

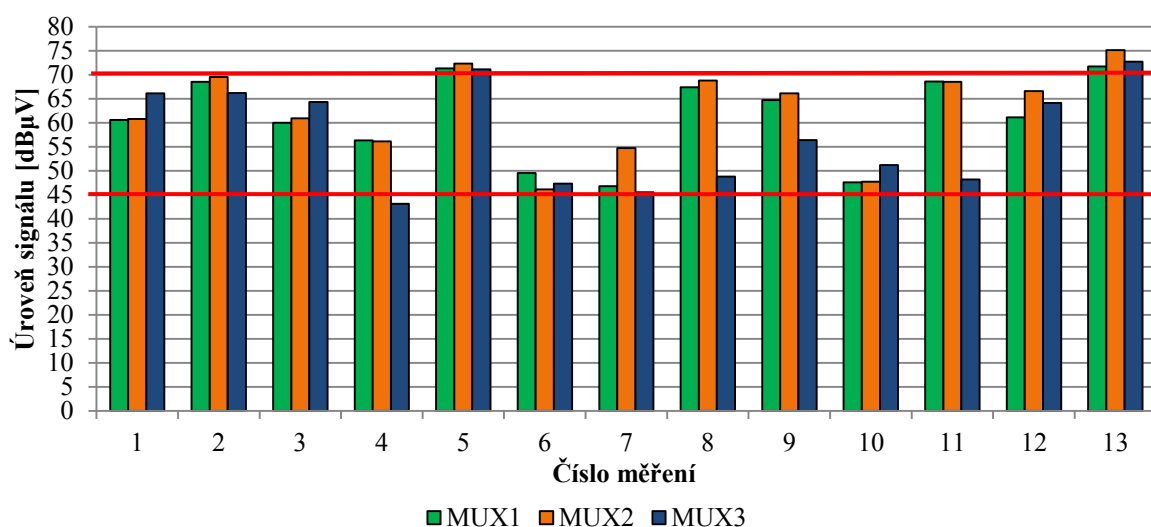
Je možné říci, že kvalita sledovaných programů přímo souvisela s úrovní přijatého signálu. Vliv zhoršených hodnot parametru MER se projevil pouze při nižších úrovních signálu.

5.2.3 Srovnání naměřených výsledků v roce 2013 s měřením v roce 2009

Na sloupcových grafech zobrazených na Obr. 5.4 a 5.5 jsou uvedeny hodnoty úrovně signálů DVB-T naměřených roku 2009 a v roce 2013. Jak již bylo uvedeno, tak měřicí bod č. 10 z roku 2009 při tomto měření nebyl přístupný, a proto měřicí body č. 11, 12, 13 a 14 z roku 2009 odpovídají nynějším měřicím bodům č. 10, 11, 12 a 13. Nyní je možno vytvořit srovnání naměřených hodnot úrovně signálu DVB-T roku 2009 se stavem v roce 2013.



Obr. 5.4 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T při měření roku 2009[19]



Obr. 5.5 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T roku 2013

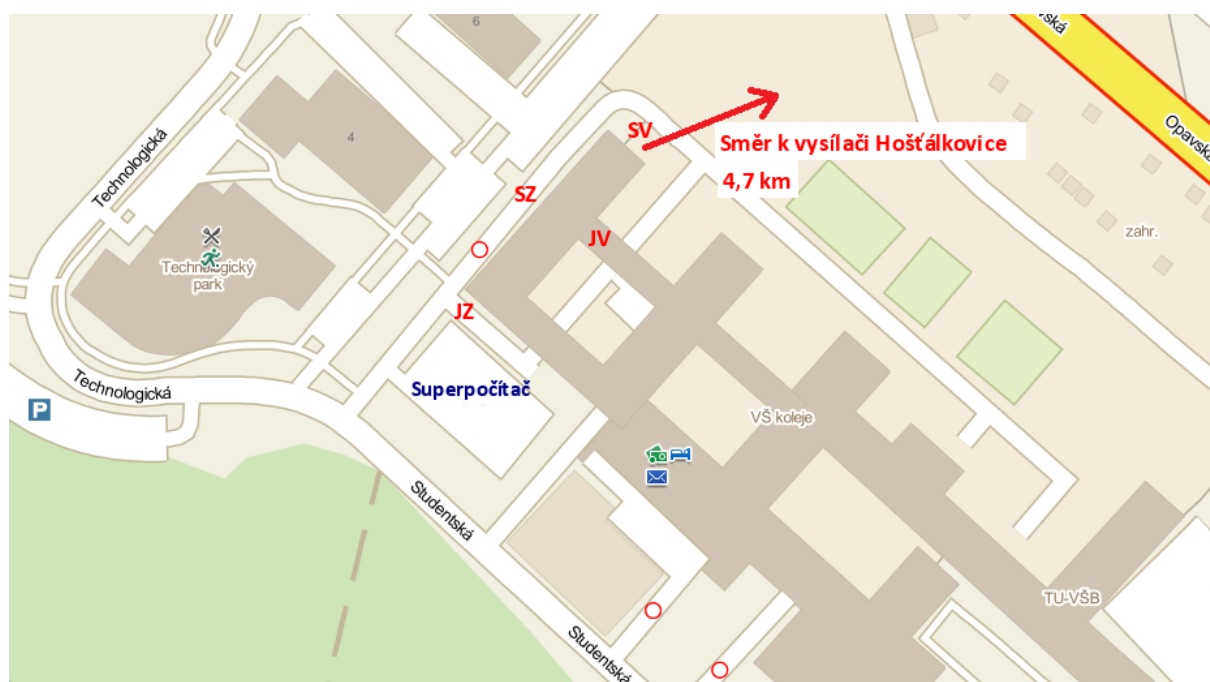
Z naměřených hodnot úrovně signálu je patrné, že na většině měřicích míst, kde v roce 2009 u některých multiplexů nebyla dostatečná úroveň signálu pro kvalitní příjem, došlo k jejímu zlepšení nad hodnotu potřebnou pro bezproblémový příjem. Co se týká měřeného multiplexu 1, tak zde sice dochází k drobným odchylkám mezi hodnotami naměřenými v roce 2009 a 2013, ale celkově je situace příjmu u tohoto multiplexu srovnatelná se situací před čtyřmi lety. Zajímavější situaci je však možno pozorovat u multiplexů 2 a 3, kde ve většině měřicích míst došlo k navýšení příjmacích úrovní oproti předchozímu stavu v roce 2009. Pouze v měřicím místě č. 4 u MUX 3 nedošlo k dostatečnému

zlepšení přijímané úrovně nad 45 dB μ V. Důvod celkového zlepšení situace u multiplexu 2 a 3 je ten, že v roce 2009 byly tyto multiplexy vysílány jen z jednoho vysílače a to z vysílače Hladnov. Vysílač Hladnov je poměrně vzdálen od městské části Poruba a zároveň vysílal s menším vysílacím výkonem 10 kW. Nyní jsou tyto dva multiplexy vysílány také z vysílače v Hošťálkovicích, který je měřicím místům mnohem blíže a zároveň vysílá s větším vysílacím výkonem 100 kW. MUX 2 je navíc vysílán i z vysílače Lysá hora, jehož signál je v lokalitě Ostrava-Poruba možno přijímat.

Další změnou, kterou je potřeba zmínit je to, že multiplexy 2 a 3 byly přeladěny z původních, tehdy dočasných kanálů. U MUX 2 došlo k přeladění z kanálu 39 na kanál 37 a u MUX 3 se jednalo o přeladění z kanálu 32 na kanál 48. U multiplexu 3 tak došlo k poměrně velkému zvýšení kmitočtu z 562 MHz na 690 MHz, což zajisté vedlo ke zlepšení šíření tohoto signálu v prostředí zástavby, zajistilo jeho lepší propustnost s menším útlumem způsobeným terénem a zástavbou.

5.3 Měření z výškové budovy kolejí VŠB-TUO

Pro další měření byla zvolena výšková budova kolejí VŠB-TUO v lokalitě Ostrava-Poruba, konkrétně se jednalo o budovu kolejí E. Na tomto měřicím místě bylo rovněž jako u předchozího měření (Měření v lokalitě Ostrava-Poruba) provedeno měření úrovně signálu DVB-T v roce 2009 v rámci stejného projektu. Nynější měření bylo provedeno dne 14. 3. 2014. Při tomto měření byla proměřena pouze úroveň a kvalitativní parametry vysílání multiplexu 1 šířícího se z nejbližšího vysílače Hošťálkovice (vzdálenost 4,7 km). Měření bylo provedeno ze všech podlaží budovy (i ze střechy) a rovněž ze všech stran budovy. Umístění budovy na mapovém podkladu s vyznačením světových stran je zobrazeno na *Obr. 5.6*. Přijímací anténa (parametry viz *příloha C*) byla vždy umístěna na dostupných bočních balkónech budovy a byla směřována do míst s nejvyšší naměřenou úrovní signálu DVB-T.



Obr. 5.6 Umístění výškové budovy E koleji VŠB a nově postavené budovy superpočítače, (červeně jsou označeny světové strany)

Záměrem tohoto měření bylo demonstrovat, jak se mění úroveň signálu s poklesem místa příjmu – při umístění přijímací antény v nižších podlažích, a také demonstrovat vliv přímé viditelnosti z místa příjmu na televizní vysílač (přivrácená SV strana a JV strana) na úroveň signálu, na rozdíl od míst příjmu, u kterých přímá viditelnost na vysílač neexistuje (JZ a SZ strany budovy). V případě míst bez přímé viditelnosti na vysílač se signál musí šířit odrazy a ohyby o okolní budovy.

Rovněž je na tomto místě možno pozorovat vliv nově postavené výškové budovy v bezprostřední blízkosti budovy E koleji – po porovnání hodnot naměřených úrovní z roku 2009 s hodnotami naměřenými v roce 2014, kdy již byla tato výšková budova dostavěna. Nově postavená výšková budova je budovou superpočítače VŠB-TUO. Tato nová budova superpočítače zabírá celou plochu bývalého parkoviště, nacházejícího se několik metrů od jihozápadní strany budovy koleji a sahá až do výšky 5. patra této budovy.

Je nutné zmínit, že všechna uvedená měření byla provedena se směrovou anténou s vysokým ziskem (anténa TELEVES 1044), která díky její velikosti není příliš vhodná pro příjem televizního signálu z balkónů. Pokud by pro měření byla použita venkovní anténa s menšími rozměry nebo běžně dostupná pokojová anténa umístěna za oknem balkónů, naměřené úrovně by byly mnohem menší.

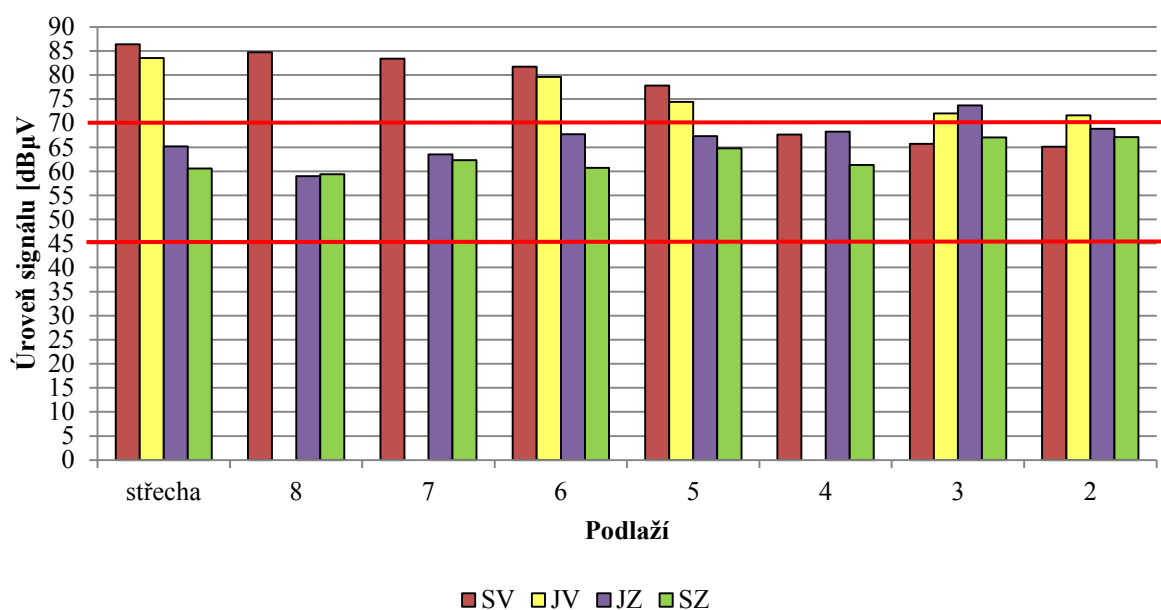
5.3.1 Hodnoty naměřených parametrů

Přijímací úroveň

Naměřené hodnoty pro jednotlivá podlaží a strany budovy jsou uvedeny v Tab. 5.6. Při měření nebyla proměřena úroveň na třech podlažích jihovýchodní strany budovy – na balkóny na těchto podlažích totiž vede cesta skrz místnosti, které jsou ve vlastnictví soukromých firem, a přístup zde nebyl umožněn. Pro přehlednější zobrazení naměřených úrovní byl vytvořen sloupcový graf úrovní pro jednotlivá podlaží a strany budovy Obr. 5.7.

Tab. 5.6 Naměřené hodnoty přijímací úrovně z budovy E kolejí VŠB-TUO v lokalitě Ostrava-Poruba, (znakem X jsou označeny nedostupné balkóny na JV straně budovy)

Poschodí	Úroveň signálu [dBμV]			
	Strana budovy			
	SV	JV	JZ	SZ
střecha	86,4	83,5	65,2	60,6
8	84,7	X	59	59,4
7	83,4	X	63,5	62,3
6	81,7	79,6	67,7	60,7
5	77,8	74,4	67,3	64,8
4	67,6	X	68,2	61,3
3	65,7	72	73,7	67
2	65,1	71,6	68,8	67,1



Obr. 5.7 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T pro MUX 1 na budově E kolejí VŠB-TUO

Z naměřených hodnot úrovní signálu na severovýchodní straně budovy (strana přilehlá k vysílači Hošťálkovice) je u vyšších podlaží budovy možné sledovat úrovně signálu nad 80 dB μ V, úroveň postupně klesá se snižujícími se podlažími, neboť již ve 4. patře není zajištěna přímá viditelnost na vysílač a signál se tak k anténě šíří ohybem o střechy panelových domů, který zastiňují přímý výhled na vysílač (ulice Pavlousková a Marty Krásové LAT 49°50'22,806", LON 18°9'36,580").

Na jihovýchodní straně budovy také úroveň s klesajícím umístěním antény pro příjem televizního signálu postupně klesala. Jedná se o stranu, ze které je ještě z vyšších podlaží možný přímý výhled na vysílač. Anténa byla vždy směřována o 90 ° doleva vůči přímému směru výhledu z balkónů JV strany budovy. Naměřená úroveň signálů v posledních dvou podlažích byla dokonce vyšší, než tomu bylo u strany budovy přilehlé k vysílači (SV).

Nejzajímavější situaci, co se týká měření úrovně signálu z různých podlaží, bylo možné pozorovat u jihozápadní strany budovy (strana odvrácená od vysílače). Ve vyšších patrech nebylo možné anténu směřovat na žádný blízký objekt, od kterého by se signál odrazil, a byla zde naměřena nižší úroveň signálu. Při poklesu na nižší podlaží se již začal uplatňovat vliv nově postavené budovy superpočítače, kdy stačilo anténu směřovat přímo v kolmém směru na protilehlou stěnu budovy superpočítače, případně o několik stupňů doleva. Stěna budovy sloužila k vylepšení přijímané úrovně signálu DVB-T a v nižších patrech zde byla naměřena úroveň vyšší než ve výše položených patrech.

Poslední stranou budovy, ze které bylo měřeno, byla strana severozápadní. Na této straně byla přijímací anténa vždy směřována doprava pod úhlem cca 70 ° oproti přímému výhledu z balkónu. Docházelo zde k podobnému jevu jako při měření z jihozápadní strany budovy, protože anténa byla směřována na skupinu vzdálenějších panelových domů, od kterých se televizní signál zjevně dobře odrazil. Naměřené úrovně v nižších patrech zde byly lepší, než tomu bylo u pater vyšších (stejně jako u strany JZ).

Parametr MER

Naměřené hodnoty parametru MER pro jednotlivá podlaží a strany budovy jsou uvedeny v Tab. 5.7. Hodnoty MER se při tomto měření díky blízkosti vysílače nacházely ve výborných hodnotách, téměř ve všech případech vyšších než doporučená úroveň ≥ 22 dB. Pouze na severozápadní straně budovy ve čtvrtém poschodí byl naměřen jeden případ s horší modulační chybou, která by mohla zapříčinit chyby ve sledovaném obraze.

Tab. 5.7 Naměřené hodnoty parametru MER z budovy E kolejí VŠB-TUO v lokalitě Ostrava-Poruba, (znakem X jsou označeny nedostupné balkóny na JV straně budovy, šedou barvou je označena nevyhovující hodnota MER <22 dB)

	MER [dB]			
	Strana budovy			
Poschodí	SV	JV	JZ	SZ
střecha	34,8	34,8	31,7	25,4
8	34,2	X	23,7	22,7
7	34,6	X	32,6	23,8
6	35,0	34,3	33,7	22,1
5	33,7	33,1	32,7	30,4
4	34,3	X	31,7	18,8
3	33,2	33,9	33,3	29,8
2	33	34,3	34,5	31,8

Parametr VBER

Pro všechna měření byla naměřena hodnota chybovosti VBER <2E-6, což je hodnota vyhovující vyhlášce, která je minimálně o dva řády nižší. I vyšší naměřená úroveň signálu než je 70 dBμV se neprojevila nijak nepříznivě na vznik intermodulačních produktů a nedošlo ke zhoršení chybovosti u přijatých televizních dat. Stejně tak jedna zhoršená hodnota parametru MER v případě severozápadní strany budovy neměla vliv na zhoršení výsledné bitové chybovosti.

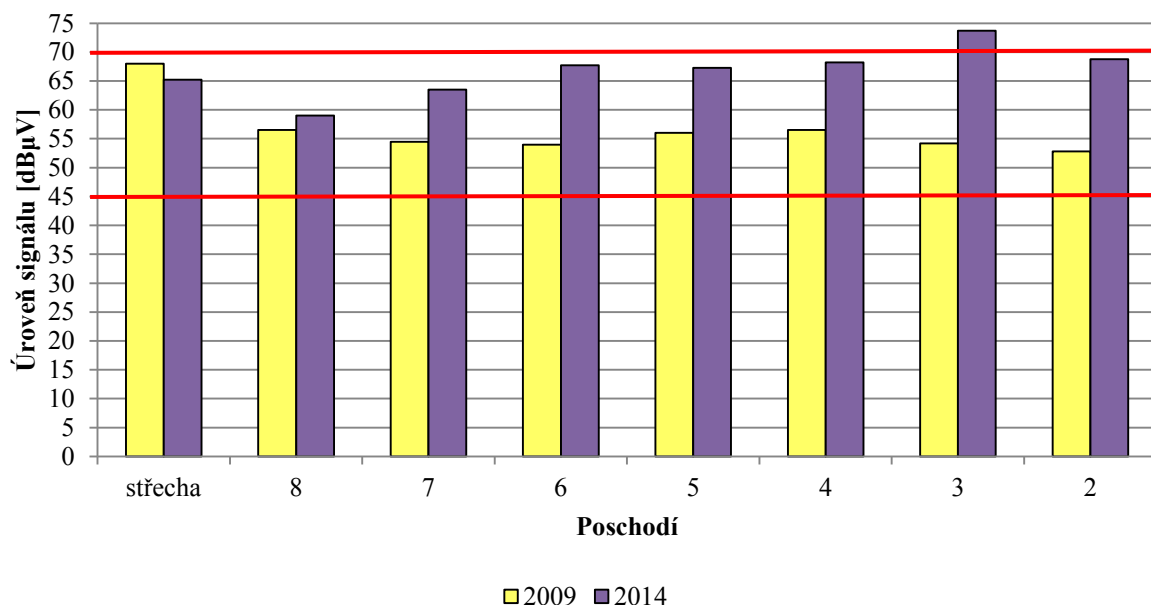
Subjektivní hodnocení kvality

Subjektivní hodnocení kvality bylo ve všech případech – ve všech patrech a u všech stran budovy E kolejí VŠB-TUO hodnoceno stupněm výborné kvality (Q5), bez chyb zvuku a chyb ve sledovaném obraze. Ani jeden případ zhoršeného parametru MER se neprojevil negativně na kvalitě sledovaného obrazu.

5.3.2 Srovnání naměřených výsledků v roce 2014 s měřením v roce 2009

Všechny hodnoty naměřených úrovní z měření v roce 2009 jsou uvedeny v příloze D. Srovnáním s naměřenými hodnotami úrovní signálu multiplexu 1 mezi roky 2009 a 2014 je možno říci, že na severovýchodní, jihovýchodní i severozápadní straně budovy je situace s menšími odchylkami srovnatelná s předchozími měřeními. Zajímavé je sledovat situaci, která vznikla při příjmu televizního signálu na jihozápadní straně budovy kolejí, kdy vlivem vybudování nové budovy v těsné

blízkosti budovy kolejí došlo ke zlepšení příjmu téměř ve všech podlažích z této strany. Situace porovnání naměřených úrovní na jihozápadní straně je zobrazena na *Obr. 5.8*.



Obr. 5.8 Srovnání naměřených hodnot úrovní na jihozápadní straně budovy E kolejí VŠB-TUO mezi roky 2009 a 2014

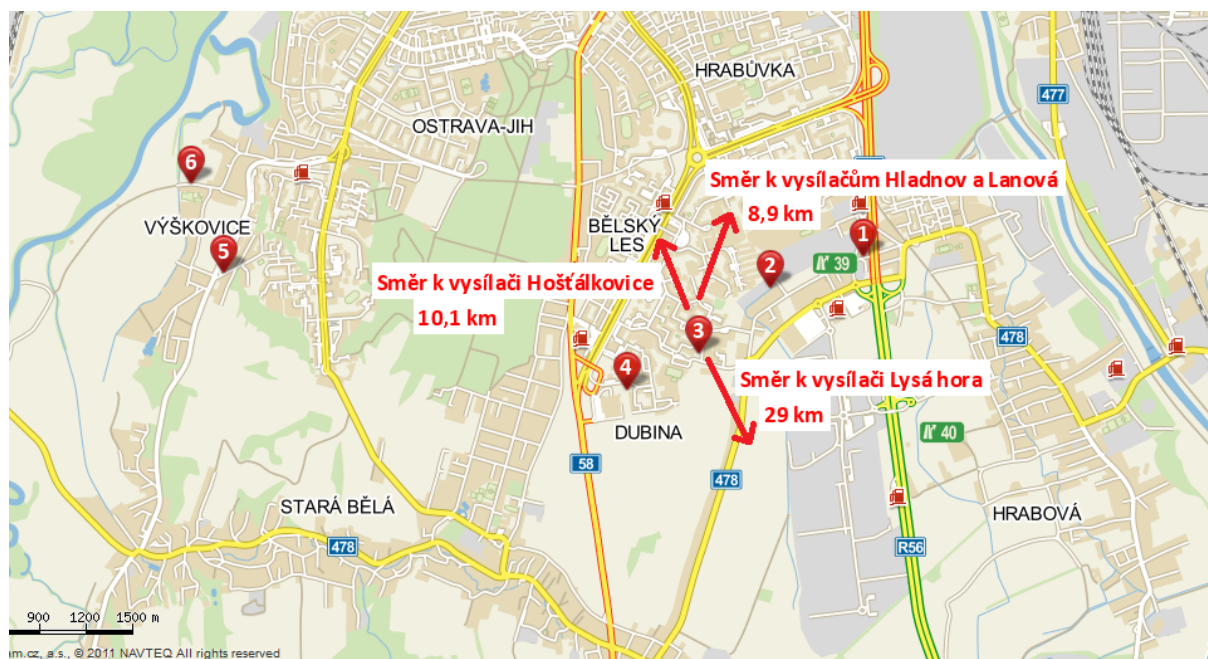
5.4 Měření v lokalitách Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice

Jako další lokality pro měření možného vlivu zástavby na šíření televizního signálu byly zvoleny lokality Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice. Měření byla provedena dne 25. 3. 2014. Přesné umístění měřících míst s GPS souřadnicemi je uvedeno v *Tab. 5.8* a měřící místa jsou také zobrazena na mapě na *Obr. 5.9*.

5.4.1 Přesné umístění měřících míst

Tab. 5.8 Přesné umístění měřících míst Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice

Číslo měření	Místo měření	LAT	LON
1	ul. Krmelínská	49°46'41,946"	18°16'15,025"
2	ul. Krmelínská	49°46'36,182"	18°15'45,102"
3	ul. Kaminského	49°46'23,533"	18°15'21,598"
4	ul. Františka Formana	49°46'16,607"	18°14'58,358"
5	ul. Charvátská	49°46'44,179"	18°12'51,559"
6	ul. K Odře	49°47'2,500"	18°12'39,664"



Obr. 5.9 Mapa umístění měřících míst Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice

Tyto lokality byly vybrány jako jedny z neznámějších míst na území Ostravy s nejhustější zástavbou panelových domů. Měřící body byly vybrány tak, že nejdříve byla pomocí internetové aplikace <http://www.mapavysilacu.cz>, která umožňuje zobrazení terénního profilu mezi dvěma body (vysílacím a přijímacím místem), výtýpováno několik míst, tak aby mezi zvolenými dvěma body existovala přímá viditelnost a spojnice mezi vysílačem a měřícím místem nebyla v zákrytu vlivem terénu, aby zde mohl být patrný pouze vliv okolní zástavby. Následně byly osobně navštíveny tyto lokality a bylo definitivně vybráno šest měřících míst. Měřící místa č. 2, 3 a 4 jsou umístěna v místech, kde se předpokládala špatná úroveň digitálního televizního signálu – jedná se totiž o území, kde přímé viditelnosti na všechny vysílače (kromě vysílače Lysá hora) brání velké množství vysokých panelových domů. V nevelké vzdálenosti za panelovými domy se nacházejí rodinné domy, u kterých byla předpokládána zhoršená kvalita příjmu signálu DVB-T. Naopak měřící místa č. 1, 5 a 6 byla vybrána jako místa, která jsou takřka ve stejné vzdálenosti od vysílačů jako měřící místa 2, 3 a 4, avšak tato místa poskytují přímý výhled na vysílač bez zastínění zástavbou. I tato místa jsou v blízkosti rodinných domů. U měřícího místa č. 1 existuje přímý výhled na vysílač Hladnov a Lanová a u měřících míst 5 a 6 je to vysílač Hošťálkovice.

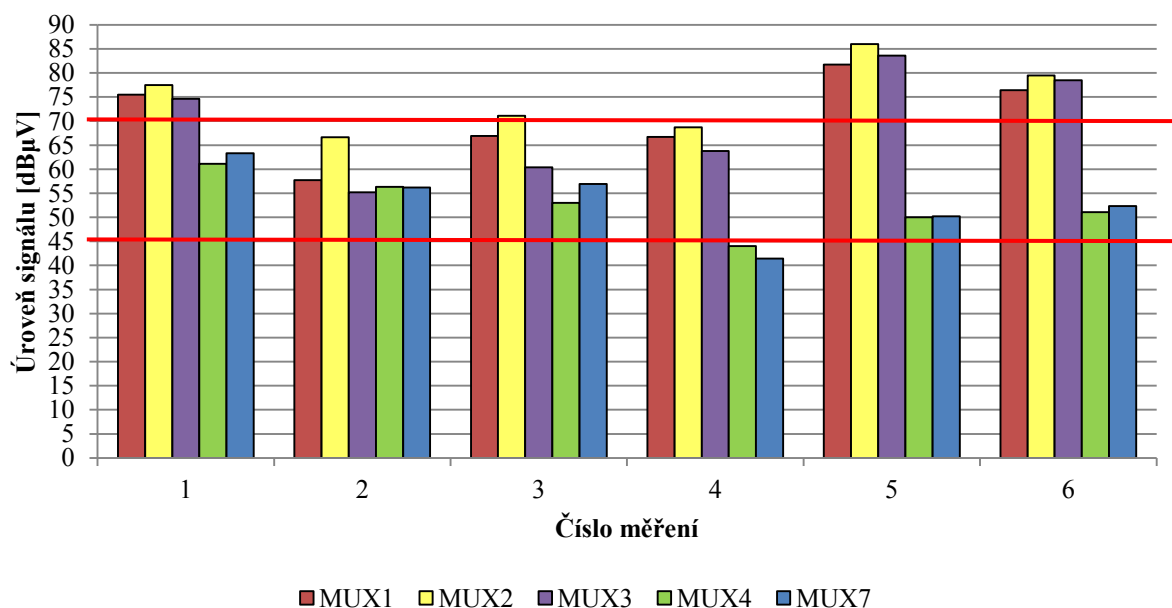
5.4.2 Hodnoty naměřených parametrů

Přijímací úroveň

Naměřené hodnoty úrovní pro jednotlivá měřicí místa jsou uvedeny v Tab. 5.9. Naměřené hodnoty úrovní jsou také vyobrazeny ve sloupcovém grafu na Obr. 5.10.

Tab. 5.9 Naměřené hodnoty přijímací úrovně v lokalitě Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice, (šedou barvou jsou označeny úrovně ≤ 45 dB μ V a > 70 dB μ V)

Číslo měření	Úroveň signálu [dB μ V]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
1	75,5	77,5	74,6	61,1	63,3
2	57,7	66,6	55,2	56,3	56,2
3	66,9	71,1	60,4	53	56,9
4	66,7	68,7	63,8	44	41,4
5	81,7	86	83,6	50	50,2
6	76,4	79,5	78,5	51,1	52,3



Obr. 5.10 Graf naměřených hodnot úrovní DVB-T signálu v lokalitě Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice

Měřením se potvrdil vliv zástavby na signál, který se tímto prostředím šíří a je jím tlumen. Bylo očekáváno naměření ještě nižších úrovní signálu pro měřicí místa bez přímé viditelnosti na vysílače, než byly ve výsledku naměřeny, ale i tak je zde patrný pokles úrovně mezi případy s přímou viditelností a v případech bez přímé viditelnosti. U měřicích míst č. 1, 5 a 6, kde byla očekávána vyšší hodnota úrovně signálu, se opravdu potvrdil předpoklad a pro multiplexy 1 až 3 byly

naměřeny hodnoty úrovně signálu dokonce vyšší než je maximální doporučovaná hodnota 70 dB μ V. Jak už bylo řečeno, tak v místech, kde je tato hodnota vyšší, by mohlo docházet ke vzniku intermodulačních produktů a následně ke zvýšení bitové chybovosti, což se ale ani v tomto případě při měření chybovosti nepotvrdilo.

U ostatních třech míst č. 2, 3 a 4 již byla úroveň signálu pro MUX 1 až 3, zhoršena vlivem odrazů a tedy vícecestného šíření prostředím zástavby, které působilo na signál při jeho šíření. V měřicích místech č. 2 a 3 se například jako výhodnější varianta příjmu signálu pro MUX 1 a 2 jevila varianta při směřování antény na sice poměrně vzdálený vysílač Lysá hora, ale zato s přímým výhledem na něj. Při směřování na vysílač Hošťálkovice v těchto místech byla naměřena úroveň průměrně o 8 dB μ V nižší. Celkově však i při příjmu ostatních multiplexů, v měřicích místech č. 2 až 4, nedošlo k nijak kritickému zhoršení úrovně signálu a příjem DVB-T v těchto místech byl možný bez zhoršení kvality. Pouze u měřicího místa č. 4, které bylo v zákrytu vysokých panelových budov ze všech stran, byla naměřena nízká úroveň signálu z vysílače Lanová pro MUX 4 a 7, příjem těchto multiplexů by zde nebyl možný.

Parametr MER

Naměřené hodnoty parametru MER jsou uvedeny v Tab. 5.10.

Tab. 5.10 Naměřené hodnoty MER v lokalitě Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice, (šedou barvou jsou označeny nevyhovující hodnoty MER <22 dB)

Číslo měření	MER [dB]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
1	34,3	34,4	33	33,3	33,2
2	31,1	33,7	19,1	31,1	31,1
3	33,5	32,6	33	28,1	31,4
4	34,6	33,7	33,5	13,9	12,4
5	34,5	33,6	34,4	22,4	25,4
6	34,4	34,6	34,5	24,1	25,3

Téměř u všech měřicích míst nedošlo k naměření zhoršeného parametru MER nižšího než 22 dB, pouze u měřicího místa č. 2 pro MUX 3 a také v měřicím místě č. 4 pro MUX 4 a 7 byla naměřena snížená hodnota MER.

Parametr VBER

Naměřený parametr chybovosti VBER téměř pro všechna měření nabýval hodnoty $<2E-6$, pouze u měřicího místa č. 4 byla pro MUX 4 naměřena hodnota VBER $3,9E-2$ a pro MUX 7 přístroj hodnotu VBER nedokázal změřit. Tyto zhoršené hodnoty chybovosti přímo souvisí se špatnými hodnotami úrovně signálu i parametru MER. U zhoršené hodnoty MER pro MUX 3 v měřicím místě č. 2 se neprojevovalo zhoršení chybovosti.

Subjektivní hodnocení kvality

Pouze u již zmíněného místa č. 4 a multiplexů 4 a 7 nebylo možné sledovat televizní přenos, proto je zde sledování programů z MUX 4 a 7 hodnoceno špatným stupněm subjektivní kvality (Q1), přijímač se nezasynchronizuje. V ostatních měřicích bodech a sledovaných programech ze všech multiplexů již nedocházelo k sebemenším chybám a hodnocení kvality zde bylo hodnoceno stupněm výborné kvality (Q5).

5.5 Měření s pokojovou anténou

Posledními měřeními této práce byla měření signálu DVB-T v bytech panelových domů s pokojovou anténou. Byla zde ověřována situace, při které může při televizním příjmu s pokojovou anténou v panelových domech docházet k problémovému příjmu na straně odvrácené od televizního vysílače, viz kapitola 3.7.

Měření kvality digitálního televizního signálu při příjmu na pokojovou anténu byla provedena dne 11. 4. 2014. Měření byla provedena ve dvou panelových domech, umístění těchto domů je zobrazeno na *Obr. 5.11*. Měření bylo uskutečněno prostřednictvím příjmu s pokojovou anténou Vivanco TVA 301, u které výrobce neuvádí zisk, ale pouze zesílení antény, které je u tohoto modelu 40 dB. V prvním měřeném případě se jednalo o panelový dům, který se nachází v lokalitě Moravské Ostravy (přesné umístění LAT 49°46'29,005", LON 18°15'23,194"), měřeno bylo z bytu v 8. poschodí tohoto panelového domu. Bylo provedeno měření s pokojovou anténou před vstupy na dva balkóny, kdy z jednoho balkónu existovala přímá viditelnost na vysílače Hladnov a Lanová, druhý balkón se nacházel na opačné straně domu, kde se signál do tohoto místa musel šířit odrazem od protější budovy nebo také průchodem signálu přes celý byt ze strany výhodné pro příjem. Mezi těmito měřeními bylo možné srovnat kvalitu měřeného signálu při šíření s přímou viditelností, kdy je signál tlumen pouze průchodem přes skleněnou výplň oken balkónu nebo při vícecestném šíření signálu s odrazy. Při tomto měření se také ještě nabízela varianta srovnání kvality signálu při příjmu na společnou televizní anténu (STA), ale ta se bohužel na tomto panelovém domě nevyskytovala.



Obr. 5.11 Mapa umístění panelových domů, kde byla provedena měření s pokojovou anténou. Měřicí místo 1 – Moravská Ostrava, měřicí místo 2 – Ostrava-Dubina

V druhém měřeném případě bylo provedeno měření v panelovém domě v lokalitě Ostrava-Dubina (přesné umístění LAT 49°49'47,468", LON 18°16'39,899"), měřeno bylo ze 4. poschodí tohoto panelového domu. Byt, ze kterého bylo měřeno, měl pouze okna na odvrácené straně od všech Ostravských vysílačů, přímý výhled zde může existovat pouze na vysílač Lysá hora vysílající multiplexy 1 a 2. Nejdříve zde bylo provedeno měření s pokojovou anténou, kdy na této anténě bylo nastaveno minimální zesílení, poté bylo zesílení naopak nastaveno na maximální hodnotu. Také byly změřeny parametry signálu, který zde bylo možné přijímat prostřednictvím společné televizní antény. U tohoto měření existuje možnost srovnání, jak zesílení pokojové antény při příjmu DVB-T ovlivňuje kvalitativní parametry signálu a také srovnání mezi příjmem s pokojovou a společnou televizní anténou, kdy u pokojové antény v určitých místech není možný příjem kvalitního signálu a je spíše doporučován příjem na společnou televizní anténu.

5.5.1 Hodnoty naměřených parametrů – lokalita Moravská Ostrava

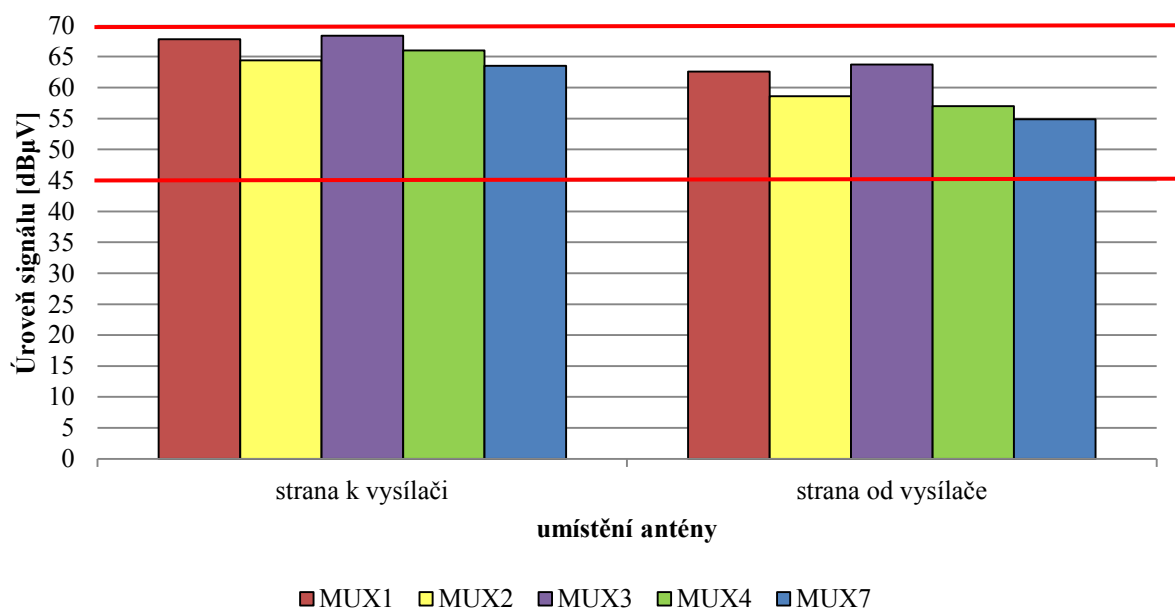
Přijímací úroveň

Naměřené hodnoty úrovní jednotlivých multiplexů ze dvou stran bytu v Moravské Ostravě jsou uvedeny v Tab. 5.11 a také zobrazeny ve sloupcovém grafu na Obr. 5.12.

Tab. 5.11 Naměřené hodnoty přijímací úrovně v lokalitě Moravská Ostrava při měření s pokojovou anténou

strana budovy	Úroveň signálu [dBμV]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
strana k vysílači	67,8	64,4	68,4	66	63,5
strana od vysílače	62,6	58,6	63,7	57	54,9

Při měření se potvrdilo snížení úrovně měřeného signálu na odvrácené straně budovy od vysílačů vlivem toho, že se signál šíří odrazem od protější budovy anebo také průchodem signálu ze strany budovy přilehlé k vysílači přes prostředí bytu – na rozdíl od signálu, který se šíří přímou cestou. Díky blízkosti této budovy k vysílačům, ze kterých je televizní signál přijímán, nabývaly úrovně signálů u všech multiplexů dostatečných hodnot i při snížení úrovně u signálu přijímaného z odvrácené strany od vysílačů. Nastavené zesílení antény zde bylo nastaveno na minimální hodnotu.



Obr. 5.12 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T v lokalitě Moravská Ostrava při měření s pokojovou anténou

Parametr MER

Naměřené hodnoty parametru MER u jednotlivých multiplexů ze dvou stran bytu v Moravské Ostravě jsou uvedeny v Tab. 5.12.

Tab. 5.12 Naměřené hodnoty MER v lokalitě Moravská Ostrava při měření s pokojovou anténou, (šedou barvou jsou označeny nevyhovující hodnoty MER <22 dB)

strana budovy	MER [dB]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
strana k vysílači	26,6	24,3	29,4	26,6	26,7
strana od vysílače	24,4	17,6	25	18,7	25

Z naměřených hodnot MER (Tab. 5.12) je možné sledovat snížení hodnot v místě měření, kde není možný příjem přímého signálu z vysílačů pro multiplexy 2 a 4. Ne všechny hodnoty tohoto parametru nabývají hodnot pro kvalitní příjem televizního signálu, avšak na výsledné hodnoty VBER a také na kvalitu obrazu a zvuku tyto horší hodnoty neměly vliv.

Parametr VBER

Změřený parametr bitové chybovosti pro všechna měření nabýval hodnoty <2E-6, tedy hodnoty chybovosti potřebné pro kvalitní příjem a sledování digitální televize.

Subjektivní hodnocení kvality

Pro sledované programy ze všech multiplexů při měření z přivrácené strany k vysílači i strany opačné nedocházelo k sebemenším chybám a subjektivní hodnocení kvality bylo hodnoceno stupněm výborné kvality (Q5).

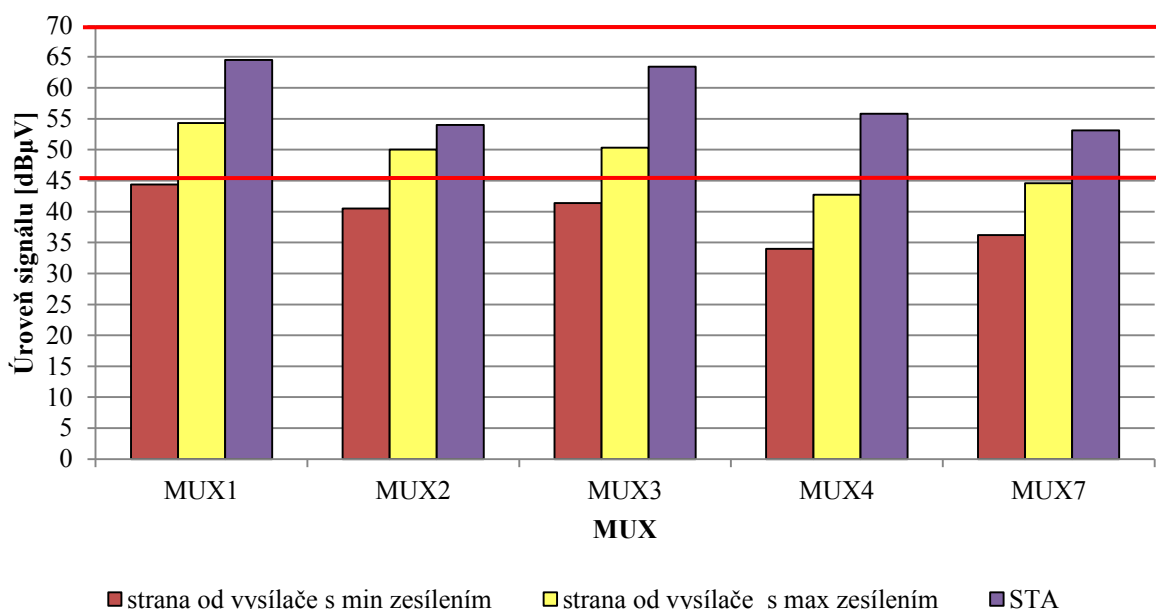
5.5.2 Hodnoty naměřených parametrů – lokalita Ostrava-Dubina

Přijímací úroveň

Naměřené hodnoty úrovní jednotlivých multiplexů při měření z jedné strany bytu v Ostravě-Dubině jsou uvedeny v Tab. 5.13 a také zobrazeny ve sloupcovém grafu na Obr. 5.13.

Tab. 5.13 Naměřené hodnoty přijímací úrovně v lokalitě Ostrava-Dubina při měření s pokojovou anténou, (šedou barvou jsou označeny hodnoty přijímací úrovně ≤ 45 dB μ V)

způsob měření	Úroveň signálu [dB μ V]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
strana od vysílače s min. zesílením	44,4	40,5	41,4	34	36,2
strana od vysílače s max. zesílením	54,3	50	50,3	42,7	44,6
STA	64,5	54	63,4	55,8	53,1



Obr. 5.13 Graf naměřených hodnot úrovní signálu DVB-T v lokalitě Ostrava-Dubina při měření s pokojovou anténou

Z tohoto měření je možno sledovat, že příjem televizního signálu, který je zajišťován prostřednictvím pokojové antény, není vhodným řešením. Při minimálním zesílení pokojové antény se všechny úrovně signálů pohybují pod hodnotou nižší než 45 dB μ V, jsou tedy hodnotami nedostatečnými pro kvalitní příjem. Při maximálním zesílení pokojové antény již byly úrovně signálů pro multiplexy 1, 2 a 3 v dostatečných hodnotách, ale u multiplexů 4 a 7 i přes maximální zesílení zesilovače antény, byla stále změřená hodnota úrovně signálu v nedostatečných mezích. Tyto dva multiplexy šířené z vysílače Lanová by tedy v tomto bytě pomocí pokojové antény nebylo možné

přijmout v bezchybné kvalitě pro sledování. Nakonec byl analyzátor DVB-T připojen ke společné televizní anténě, kde se očekávala dostatečná úroveň signálu pro bezproblémový příjem všech multiplexů, což se také bez výhrad potvrdilo. V tomto bytě by tedy pro příjem všech dostupných multiplexů DVB-T bylo nejvhodnější řešení příjmu pomocí společné televizní antény.

Parametr MER

Naměřené hodnoty parametru MER u jednotlivých multiplexů při příjmu s pokojovou anténou v bytě v Ostravě-Dubině jsou uvedeny v Tab. 5.14.

Tab. 5.14 Naměřené hodnoty MER v lokalitě Ostrava-Dubina při měření s pokojovou anténou, (šedou barvou jsou označeny nevyhovující hodnoty MER <22 dB)

způsob měření	MER [dB]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
strana od vysílače s min. zesílením	15,3	8,8	11	-	-
strana od vysílače s max. zesílením	22,5	13,4	14,6	10,3	15,8
STA	24,2	23,1	31,5	26,7	23,5

Z naměřených hodnot MER (Tab. 5.14) je zřejmé, že měřené hodnoty modulační chybovosti MER při příjmu s pokojovou anténou v bytě umístěném v lokalitě Ostravy-Dubiny, kromě jednoho případu (MUX 1 s maximálním zesílením zesilovače pokojové antény), nedosahují hodnot pro kvalitní příjem dle vyhlášky. Tyto nízké hodnoty parametru MER jen korespondují s nízkými příjímami úrovněmi. Při zesílení signálu zesilovačem pokojové antény byly hodnoty parametru MER zlepšeny, ale ve většině případů stále dosahovaly nízkých hodnot. Při zesílení signálu totiž dochází také k zesílení hodnot šumu, takže nedojde k výraznému zlepšení při rozlišení jednotlivých modulačních stavů. Až při příjmu televizního signálu na společnou televizní anténu nabývaly hodnoty MER dostatečných hodnot zaručujících kvalitní a bezchybný příjem.

Parametr VBER

Z hlediska měřeného parametru VBER Tab. 5.15, je patrné, že v případech příjmu s pokojovou anténou byly téměř vždy naměřeny hodnoty, které byly vyšší než doporučená hodnota <2E-4. Pouze u multiplexu 1 a 3 při měření s maximálním zesílením zesilovače pokojové antény, byly naměřeny dostatečné hodnoty chybovosti pro bezproblémový příjem. U měření se společnou televizní anténou byly hodnoty chybovosti v pořádku pro všechny měřené multiplexy.

Tab. 5.15 Naměřené hodnoty VBER v lokalitě Ostrava-Dubina při měření s pokojovou anténou, (šedou barvou jsou označeny nevyhovující hodnoty VBER >2E-4)

způsob měření	VBER [-]				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
strana od vysílače s min. zesílením	4,2E-3	3,9E-2	3,9E-2	-	-
strana od vysílače s max. zesílením	<2E-6	<2,2E-3	<2E-5	4 E-2	4E-2
STA	<2E-6	<2E-6	<2E-6	<2E-6	<2E-6

Subjektivní hodnocení kvality

Hodnocení subjektivní kvality přijímaných programů (Tab. 5.16) plně koresponduje s předchozími naměřenými hodnotami parametrů úrovně, MER a VBER. Kromě jednoho multiplexu přijímaného pokojovou anténou by kvalitní příjem DVB-T v tomto bytě panelového domu byl zajištěn pouze se společnou televizní anténou.

Tab. 5.16 Naměřené hodnoty Subjektivního hodnocení kvality v lokalitě Ostrava-Dubina, (šedou barvou je označena nevyhovující kvalita)

způsob měření	Qfactor				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 7
strana od vysílače s min. zesílením	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1
strana od vysílače s max. zesílením	Q5	Q1	Q3	Q1	Q1
STA	Q5	Q5	Q5	Q5	Q5

6 Vyhodnocení naměřených výsledků

6.1 Měření v lokalitě Ostrava-Poruba

Měřením v této lokalitě na měřicích místech, která jsou již delší dobu pokládána za nepříliš vhodná pro příjem televizního signálu, bylo zjištěno, že nyní je takřka ve všech místech možné přijímat signál multiplexů 1 až 4 s dostatečnou úrovní a dostatečnými kvalitativními parametry pro bezchybné sledování televizních programů. Příjem MUX 7 by ve většině z měřených míst v této lokalitě nebyl možný, což je způsobeno vzdáleností vysílače od dané lokality, použitým ochranným intervalem a kódovým poměrem. Horší parametry ochranného intervalu a kódového poměru umožňují přenášet větší objem dat za jednotku času, ale ovlivňují kvalitu příjmu signálu při jeho šíření prostředím zástavby.

V určitých měřicích místech bylo pozorováno utlumení úrovně televizního signálu vlivem okolní zástavby výškových budov a terénního profilu. Bylo pozorováno, že na některých místech, která byla ze strany směrem k ostravským vysílačům zastíněna výškovými budovami, bylo u multiplexů 1 a 2 dosahováno lepšího příjmu ze vzdáleného vysílače Lysá hora, avšak bez zastínění přímého výhledu na tento vysílač. V některých místech měření se jako nejvýhodnější varianta příjmu s nejlepšími naměřenými parametry jevil příjem prostřednictvím odrazu signálů od výškových budov.

Naměřené hodnoty úrovní signálů v této lokalitě byly pro multiplexy 1 až 3 srovnávány s hodnotami naměřenými v roce 2009. Hlavním vysílačem, ze kterého jsou v této lokalitě díky jeho blízkosti a použitému výkonu tyto multiplexy přijímány, je vysílač Hošťálkovice. Tento vysílač vysílal do května 2011 pouze MUX 1 s vysílacím výkonem 100 kW, ale od roku 2011 zde začaly být vysílány i multiplexy 2 a 3 se stejným vysílacím výkonem jako MUX 1. U příjmu MUX 1 nedošlo vzhledem k porovnáváním úrovní signálů k výrazné změně, i když se zde vyskytují odchylky. Sledování tohoto multiplexu je zde i nadále bezproblémově sledovatelné. U příjmu MUX 2 a MUX 3 v této lokalitě však došlo k výraznému zlepšení, oproti předchozím úrovním, které byly v roce 2009 na většině míst pod hranicí úrovně pro kvalitní příjem signálu DVB-T. I nadále se tu však dají nalézt místa, na kterých byla díky terénnímu profilu a zastínění zástavbou, u signálů MUX 2 a 3 naměřena úroveň těsně nad touto hranicí nebo dokonce v jednom případě pod touto hranicí.

V měřicích místech, kde nebyl zajištěn bezchybný příjem všech multiplexů, se diváci musejí spokojit pouze s programy dostupných multiplexů nebo je potřeba pro příjem zvolit alternativní způsob příjmu televizního signálu.

6.2 Měření z výškové budovy kolejí VŠB-TUO

Ve všech případech měření, při měření na všech podlažích a na všech stranách budovy, byla naměřena vyhovující úroveň pro bezproblémový příjem televizního signálu u MUX 1 šířeného z vysílače Hošťálkovice, rovněž i ostatní kvalitativní parametry byly téměř u všech měření v pořádku, pouze ve čtvrtém poschodí na severozápadní straně budovy se vyskytovala zhoršená hodnota parametru MER – ta se, ale neprojevila na zhoršení bitové chybovosti ani na zhoršení kvality obrazu a zvuku.

U stran budovy, ze kterých existoval přímý výhled na televizní vysílač, ze kterého byl přijímán televizní signál, docházelo k postupnému snižování úrovně signálu vlivem umístění přijímací antény v nižších podlažích budovy. Utlumení signálu v nižších podlažích na rozdíl od těch vyšších byl způsoben tím, že signál se již nešířil přímou cestou, ale šířil se prostřednictvím odrazů o okolní budovy a ohybů o střechy výškových domů. U stran budovy, ze kterých neexistovala přímá viditelnost na televizní vysílač, byl signál přijímán pouze prostřednictvím odražených signálů. Pro příjem nejlepší úrovně signálu bylo přijímací anténu vždy potřeba směřovat na nejbližší výškové budovy, od kterých se signál dobře odrážel. V těchto případech, při příjmu odražených signálů nedocházelo k znatelnému poklesu úrovně při umísťování antény v nižších podlažích budovy. Vlivem stavby nové budovy na jihozápadní straně – v bezprostřední blízkosti budovy kolejí, došlo ke zlepšení úrovně přijímaného signálu ve všech poschodích, kromě příjmu ze střechy. Nově postavená budova zde působí jako příznivá odrazná plocha pro příjem signálu DVB-T.

6.3 Měření v lokalitě Ostrava-Dubina a Ostrava-Výškovice

Takřka ve všech měřicích místech v těchto lokalitách byla naměřena vyhovující úroveň pro bezproblémový příjem televizního signálu u všech multiplexů. Na místech, která byla označena jako místa s přímým výhledem na vysílače vysílající MUX 1 až 3, byly naměřeny hodnoty úrovně vyšší než doporučených 70 dB μ V. Na naměřené hodnoty chybovosti se tyto zvýšené úrovně neprojevily nijak negativně.

U tohoto měření byly očekávány nižší úrovně signálů ve vytipovaných místech bez přímé viditelnosti na vysílač, vlivem vícecestného šíření signálu. Předpoklady byly měřením potvrzeny. Avšak i v místech s nižšími naměřenými úrovněmi televizního signálu byly naměřeny dostatečné úrovně signálů pro všechny přijímané multiplexy. Pouze v jednom měřicím místě, které bylo ze všech stran v zákrytu vysoké zástavby, byly naměřeny nízké úrovně (nižší než 45 dB μ V) u MUX 4 a 7. Měření dalších parametrů v tomto místě se potvrdilo, že tyto dva multiplexy jsou zde nesledovatelné. Na měřicích místech, která byla ze strany směrem k ostravským vysílačům zastíněna

výškovými budovami, bylo stejně jako při měření v lokalitě Ostrava-Poruba u multiplexů 1 a 2 dosahováno lepšího příjmu ze vzdáleného vysílače Lysá hora.

6.4 Měření s pokojovou anténou

První měření s pokojovou anténou v bytě panelového domu v Moravské Ostravě, proběhlo u dvou protilehlých balkónů na straně, u které existuje přímý výhled na vysílače Hladnov a Lanová a na straně opačné. U tohoto měření byl prokázán útlum televizního signálu oproti signálu, který je přijímán na straně budovy s přímou viditelností na vysílače a signálem, který je přijímán odrazem od protějších budov. Příjem všech multiplexů pomocí pokojové antény by v tomto panelovém domě v Moravské Ostravě byl možný z obou stran budovy bez ztráty kvality. Vlivem šíření signálů odrazem došlo k utlumení signálů zhruba o 6 dB μ V pro každý z multiplexů.

U druhého měření s pokojovou anténou v bytě panelového domu v lokalitě Ostrava-Dubina, bylo provedeno měření pouze u okna z jedné strany budovy (tento byt má okna pouze na jedné straně). Jednalo se o stranu domu, která je odvrácená od všech ostravských vysílačů a přímá viditelnost je zde možná pouze na vysílač Lysá hora. Měřením bylo zjištěno, že příjem televizního signálu prostřednictvím pokojové antény by z tohoto bytu nebyl možný. V jednom případě by tedy možný byl a to pro MUX 1 při maximálním zesílení zesilovače pokojové antény. Bezproblémový příjem všech dostupných multiplexů by v tomto bytě byl možný pouze prostřednictvím společné televizní antény, případně by se zde muselo uvažovat o příjmu televizního signálu prostřednictvím jiné alternativní technologie (DVB-C, DVB-S, IPTV).

6.5 Doporučení vyplývající z měření

Na území města Ostravy se ještě stále dají nalézt místa, kde i při použití směrové antény s vysokým ziskem, není možný kvalitní příjem všech dostupných multiplexů. V těchto místech se divák musí buďto spokojit s dostupnými multiplexy pro dané místo, nebo přejít na alternativní způsob televizního příjmu.

V místech příjmu DVB-T, kde úroveň nedosahuje alespoň 45 dB μ V i v případě použití přijímací směrové antény s vysokým ziskem a i v případě vyzkoušení směřování antény na různé výškové budovy, od kterých by bylo možné přijmout signál s vyšší úrovní, nezbyvá než zvolit pro příjem televizního signálu jiný dostupný způsob – jako je satelitní příjem, kabelová televize nebo IPTV. Příjem prostřednictvím odražených signálů od výškových budov je podle vyhlášky č. 163/2008 Sb. označován jako příjem nestabilní, avšak na mnoha místech je v praxi takovýto příjem používán a mnohdy vede k výraznému zlepšení televizního příjmu. V místech, kde úroveň digitálního

televizního signálu přesahuje 70 dB μ V je podle [19] nutno použít směrovou anténu s nižším ziskem, popř. všesměrovou anténu s nižším případně i nulovým ziskem, protože vysoká úroveň signálu by mohla na přijímací straně způsobit vznik intermodulačních produktů, což by vedlo ke zvýšení chybovosti přijímaných dat. Při měřeních pro tuto práci se však ani v jednom případě úroveň signálu vyšší než 70 dB μ V neprojevila na zvýšení bitové chybovosti.

U panelových domů je možný příjem DVB-T s pokojovou anténou, ale je zde několik aspektů, které musejí být dodrženy, aby byl tento způsob příjmu možný. Panelové domy se musejí nacházet v dostatečné blízkosti od televizních vysílačů. Nejvýhodnější situace je, když je z bytu panelového domu přímý výhled na vysílače, nebo v blízkosti panelového domu existuje efektivní odrazná plocha ve formě jiného výškového domu. Důležité je také výškové umístění bytu, kdy by příjem s pokojovou anténou v nižších patrech, nemusel být kvalitní. V případě, že některá z těchto podmínek není dodržena, je pro příjem všech multiplexů výhodnější použití společné televizní antény, samozřejmě pokud je u daného domu dostupná. Pokud STA dostupná není, je nutné vyhledat alternativní způsob pro televizní příjem.

U rodinných domů je v mnoha místech také možný příjem s pokojovou anténou, ale obvykle je pro kvalitní příjem výhodnější použití směrové antény umístěné na střeše domu.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat všechny možnosti příjmu digitálního televizního signálu, teoreticky rozebrat problematiku šíření signálu v městské zástavbě, prakticky změřit kvalitativní parametry signálu DVB-T ve vytipovaných oblastech a na závěr vyhodnotit tyto naměřené parametry z různých lokalit.

V části, která se zabývá popisem možností příjmu digitálního televizního signálu, jsou ve zkratce uvedeny informace o každém z dostupných způsobů příjmu. Dnes je možné přijímat televizní signál prostřednictvím pozemního televizního vysílání (DVB-T), rozvodů kabelové televize (DVB-C), rozvodů telefonních linek (IPTV) a prostřednictvím satelitního příjmu (DVB-S).

Teoretická část práce popisuje mechanismy šíření digitálního televizního signálu pozemní cestou. Tento signál se nachází v kmitočtové oblasti ultrakrátkých vln a šíří se prostředím prostřednictvím prostorové přízemní vlny. Mechanismy šíření této vlny v zástavbě jsou odraz, ohyb a rozptyl signálu. Signál se v prostředí zástavby může šířit prakticky třemi způsoby – od vysílače k přijímači se šíří signál přímý, nebo se šíří signál přímý a signály odražené od okolních budov, případně se k přijímači šíří pouze signály odražené. Šíření signálu, při kterém se na straně přijímače vyskytují i signály šířené vlivem ohybu signálu a signály odražené, se nazývá vícecestným šířením signálu. Vlivem vícecestného šíření může docházet ke kolísání úrovně přijatého signálu, obvykle dochází k útlumu šířeného signálu oproti jeho šíření bez odrazů.

Z praktického měření parametrů signálu DVB-T ve vytipovaných oblastech, je možno vyvodit závěr, že signál je ve většině míst v blízkosti prostředí zástavby tlumen – vzhledem k tomu, že se signál musí šířit prostřednictvím vícecestného šíření odrazy a ohyby od okolních budov. Avšak i výškové budovy zástavby někdy mohou působit jako efektivní odrazná místa pro signál a je od nich možno přijímat signál s vyšší úrovní a lepšími parametry, než je tomu při příjmu bez tohoto odrazu. Na území města Ostravy je možné nalézt i místa, kde není možný příjem všech dostupných multiplexů, což záleží na vzdálenosti místa příjmu od vysílače a použité přijímací anténě a také na umístění této antény. Existují totiž místa, která se mohou nacházet ve stínu městské zástavby a v místě s ne zrovna příznivou úrovní terénního profilu. V panelových domech se příliš nedoporučuje příjem pomocí pokojové televizní antény, ale i ten je v některých místech možný. Záleží to na umístění domu a také na umístění přijímací antény – tam kde nejsou dodrženy určité podmínky, není možný kvalitní příjem všech dostupných multiplexů a k příjmu DVB-T by měla být použita společná televizní anténa umístěná na střeše domu.

Co se týká měřených kvalitativních parametrů – je možné říci, že kvalita televizního signálu, prostřednictvím kterého je možné sledovat televizní programy bez chyb v obraze i zvuku, se odvíjí

především od úrovně tohoto signálu. U příliš nízké úrovně televizního signálu dochází také k naměření nízkých hodnot modulační chybovosti, bitové chybovosti a následně pak není možné sledovat televizní programy, nebo se při sledování vyskytují chyby v obraze i zvuku. I při vyšších hodnotách úrovně signálu, než je kritická hodnota 45 dB μ V, byly naměřeny hodnoty parametru modulační chybovosti, které podle vyhlášky nenabývaly dostatečných hodnot pro kvalitní příjem, což se ale obvykle neprojevalo na výsledné bitové chybovosti a kvalitě sledovaných programů. Zhoršení kvality příjmu se u signálu s dostatečnou úrovní začalo projevovat až při hodnotách modulační chybovosti nižších než 17 dB.

K dosažení relevantních hodnot při měření kvalitativních parametrů pozemního digitálního televizního signálu, by bylo potřeba na měřicích místech získat větší počet hodnot parametrů z více dnů, měření provádět v různé denní dobu, různém počasí a roční době a tyto hodnoty poté zprůměrovat. K objektivnějšímu posouzení vlivu zástavby na šíření televizního signálu by bylo potřebné měřit parametry signálu na více měřicích místech a v různých dalších částech měst s hustou zástavbou. Zajímavé by také bylo navázání na tuto práci formou akademické práce, která by se zabývala vlivem průmyslového rušení na příjem televizního signálu a měřeními v blízkých oblastech, kolem průmyslových oblastí, kde by mohlo docházet k nekvalitnímu příjmu pozemního televizního signálu vlivem průmyslového rušení, například chodem těžkých průmyslových strojů.

Použitá literatura

- [1] About DVB. *DVB.org* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <https://www.dvb.org/about>.
- [2] LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. Praha: BEN- technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-204-3.
- [3] RAAB COMPUTER: Láká Vás sledovat doma nepřeborné množství televizních programů z oblasti sportovní, filmové, hudební, dětské či vzdělávací ve vysoké kvalitě obrazu i zvuku?. *Evropská databanka* [online]. 2013 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://clanky.edb.cz/clanek-118-laka-vas-sledovat-doma-nepreberne-mnozstvi-televiznich-programu-z-oblasti-sportovni-filmove-hudebni-detske-ci-vzdelavaci-ve-vysoke-kvalite-obrazu-i-zvuku>.
- [4] TOMAN, Jiří a PROCHÁZKA, Ivo. *Technické základy DVB-T* [online]. - [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-vysilani-dvb-obecne/technicke-zaklady/>.
- [5] ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-2 01). *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*. 2001.
- [6] JURDA, Luděk. *Digitální televizní vysílání* [online]. Olomouc, 2013 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/3ewrax/00173694-479258551.pdf>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [7] IPTV v České republice. *DigiZone.cz* [online]. - [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/specialy/iptv/>.
- [8] PECHAČ, Pavel. *Šíření vln v zástavbě*, BEN-technická literatura, 2005, ISBN: 80-7300-186-1.
- [9] PECHAČ, Pavel a ZVÁNOVEC, Stanislav. *Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů*, BEN-technická literatura, 2007, ISBN: 978-80-7300-223-7.
- [10] Ohyb vlnění. *Encyklopedie fyziky* [online]. - [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/172-ohyb-vlneni>.
- [11] POLÁK, Ladislav. *Simulace vícecestného šíření vícestavových modulací* [online]. Brno, 2009 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/9258>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

-
- [12] DAŘA, Petr. *Simulace RF přenosového kanálu pro DVB-T v prostředí MATLAB* [online]. Brno, 2009 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/9183>. Diplomová práce. Vysoké technické učení v Brně.
- [13] Vysílače v Moravskoslezském kraji. *Digitální televize.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.digitalnitelevize.cz/vysilace/region-moravskoslezsky-kraj.html>.
- [14] Fotografie vysílače Hošťálkovice. *Kantorovy stránky* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.petrjanecek.cz/index.php/2013/302-bohumin>.
- [15] Fotografie vysílače Hladnov. *České radiokomunikace* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.radiokomunikace.cz/tv-a-rozhlasove-vysilani/televizni-vysilani/mapa-vysilacu.html>.
- [16] Fotografie vysílače Lanová. *TV Zpravodaj* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://tvzpravodaj.mnoho.info/televizni-vysilace/ostava---lanova>.
- [17] Fotografie vysílače Lysá hora. *Olomouclife* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://olomouclife.cz/lysa-hora/>.
- [18] Fotografie vysílače Klimkovic. *Tv Zpravodaj* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://tvzpravodaj.mnoho.info/tv-regionalni-site-dvb-t/regionalni-sit-2>.
- [19] VAŠINEK, Vladimír, ŠEBESTA, Roman a DVORSKÝ, Marek. *Závěrečná zpráva měření signálu DVB-T na území Ostravy* [online]. 2009-11-21 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://comtech.vsb.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=159&Itemid=77&lang=cs.
- [20] Vyhláška č.163/2008 Sb. vydána Českým telekomunikačním úřadem dne 30. dubna 2008. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/cs/download/sb051-08.pdf>.
- [21] Měření digitálních signálů DVB-T. *Antény a satelity* [online]. 2010 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.profidigital.cz/homepage/56-mereni-digitalniho-signalu-dvb-t.html>.

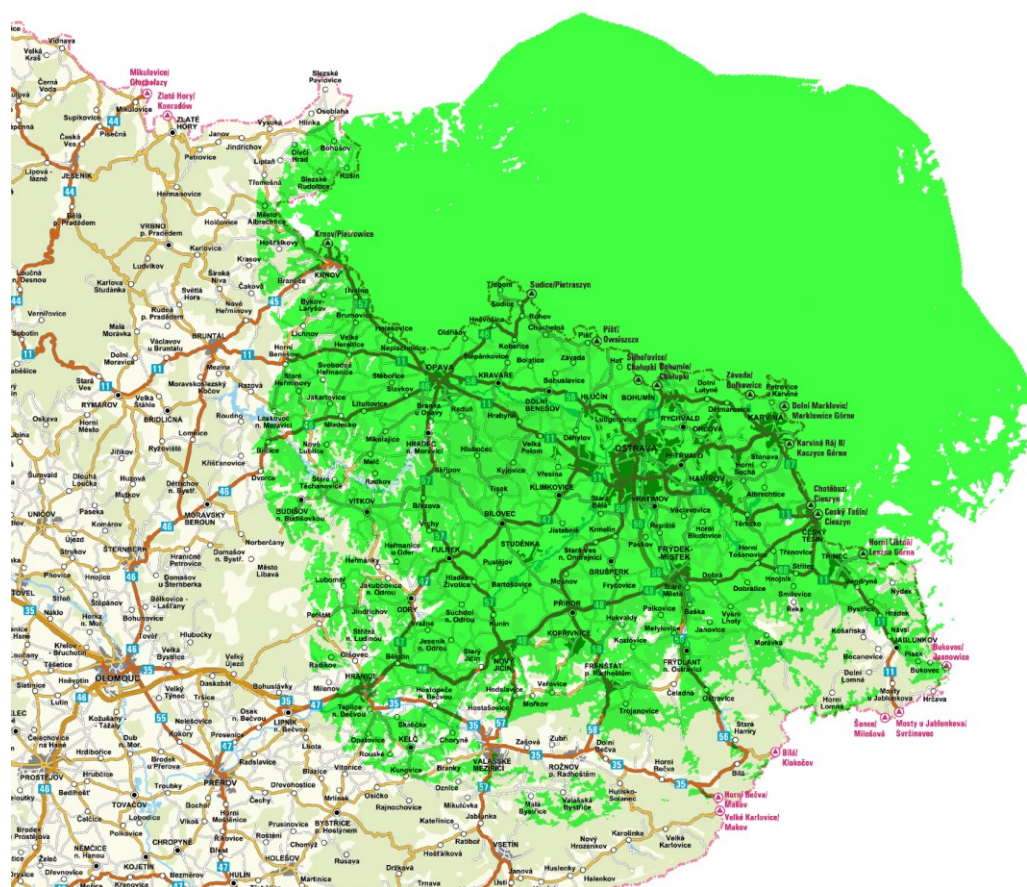
Seznam příloh

Příloha A: Mapy pokrytí jednotlivých vysílačů	ii
Příloha B: Výňatek z vyhlášky č. 163/2008 Sb.....	v
Příloha C: Technické údaje měřicí antény a teleskopického stožáru	vi
Příloha D: Naměřené úrovně signálu DVB-T z budovy kolejí E VŠB-TUO v roce 2008 a 2009.....	viii
Příloha E: Fotografie z měření parametrů DVB-T.....	x

Přílohy

Příloha A: Mapy pokrytí jednotlivých vysílačů

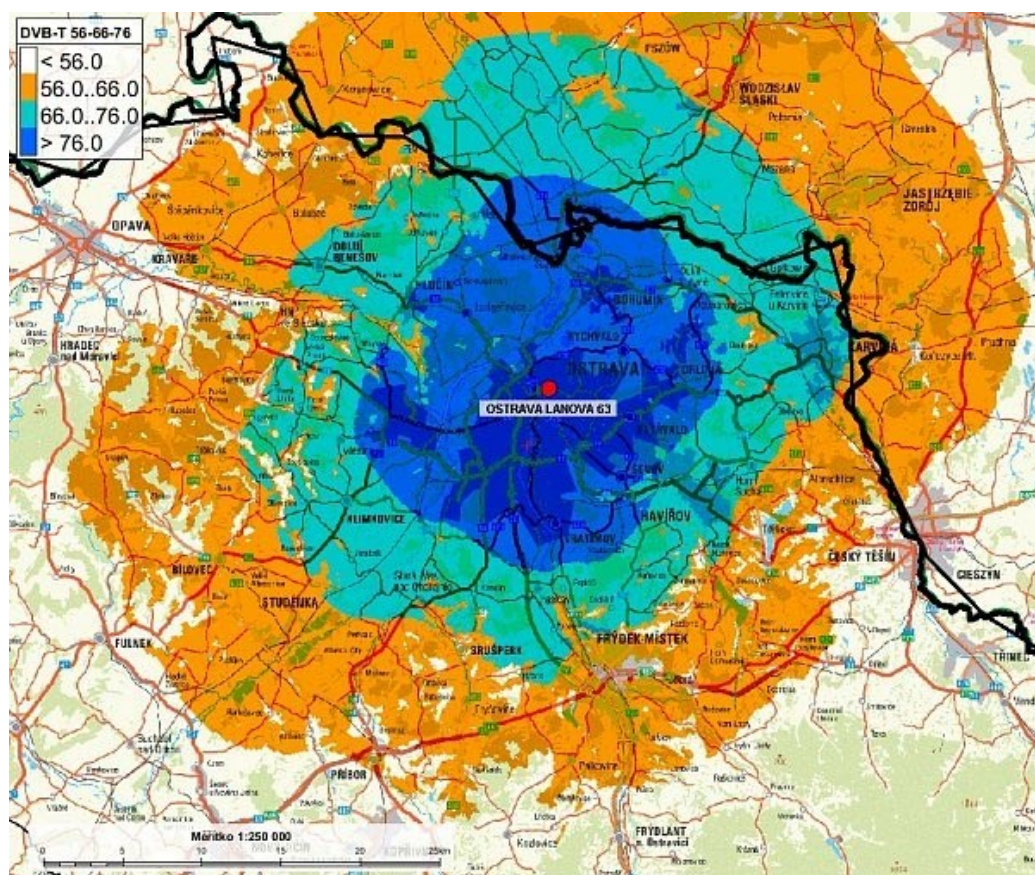
U vysílačů, které vysílají více multiplexů na rozdílných frekvencích, se pro každý multiplex mohou jednotlivé mapy pokrytí mírně lišit. Zde jsou pro představu uvedeny pouze mapy pokrytí pro jeden z vysílaných multiplexů daného vysílače, pro vysílače Hošťálkovice, Hladnov a Lysá hora je to MUX 1, pro vysílač Lanová MUX 4 a pro vysílač Klimkovice multiplex Regionální síť 2.



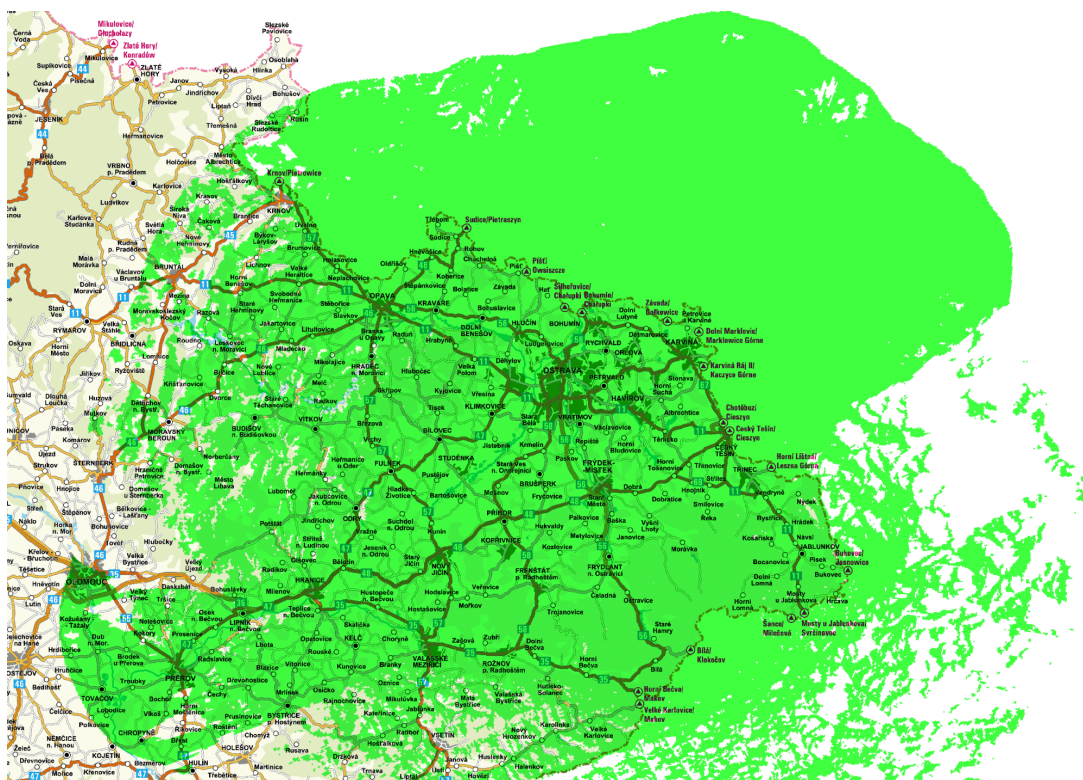
Obr. A.1 Pokrytí signálem DVB-T vysílač Hošťálkovice [13]



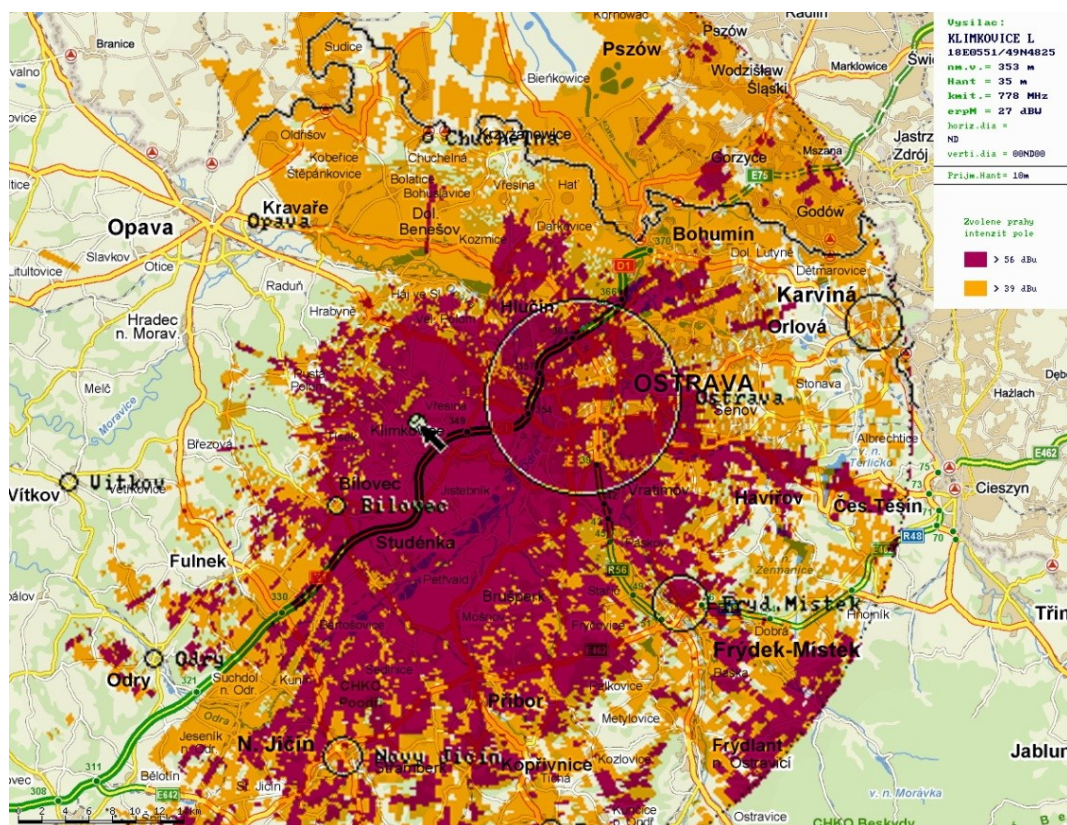
Obr. A.2 Pokrytí signálem DVB-T vysílač Hladnov [13]



Obr. A.3 Pokrytí signálem DVB-T vysílač Lanová [13]



Obr. A.4 Pokrytí signálem DVB-T vysílač Lysá hora [13]



Obr. A.5 Pokrytí signálem DVB-T vysílač Klimkovice [13]

Příloha B: Výňatek z vyhlášky č. 163/2008 Sb.

Tato vyhláška přesně vymezuje pojmy pro ověření parametrů pokrytí signálem pozemního televizního vysílání měřením a také pojmy pro simulaci pokrytí. Zde je uveden výňatek pro měření signálu DVB-T na zvoleném území, který specifikují § 8, 9 a 12.

§ 8 Ověření výsledků výpočtu měřením

1. Měření k ověření výsledku výpočtu se provádí zejména v případě

a) Posuzování signálu z jednoho vysílače zejména v okrajových oblastech území pokrytého signálem tohoto vysílače.

b) Posuzování signálu z více vysílačů zejména v členitém horském terénu, na částech území zastíněných terénními překážkami, vysokými budovami a podobně.

2. V případech, kdy bylo provedeno měření, jsou pro posouzení pokrytí území televizním signálem směrodatné výsledky měření intenzity signálu zemského televizního vysílání a subjektivního hodnocení jeho kvality.

§ 9 Měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality signálu

1. Měření intenzity se provádí měřicí soupravou s měřicí anténou a subjektivní hodnocení kvality signálu se posuzuje na televizním přijímači připojeném na anténu pro hodnocení kvality signálu.

5. Měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality přijímaných signálů zemského televizního vysílání se provádí na měřících bodech.

6. Měřicí body pro měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality signálu se volí s ohledem na členitost terénu a zástavby v obci na místech, která nejsou v těsné blízkosti překážek nebo objektů, zastiňujících směr k vysílači, jehož signál je měřen, a nejsou ovlivněna nadzemním metalickým vedením a dalšími vlivy.

7. Měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality signálu se provádí

a) Ve výšce 10 m nad terénem, pokud touto vyhláškou není stanoveno jinak.

b) Na střechách budov v případech, kdy výškové ohraničení staveb přesahuje výšku 10 m nad terénem.

8. V případech, kdy je změřená hodnota intenzity pro zemské digitální televizní vysílání nižší než hodnota intenzity uvedená v tabulce *tab. 6*, je pro vyloučení možnosti měření v lokálním minimu, vzniklém vlivem vícecestného šíření televizních signálů, třeba zjistit maximální hodnotu intenzity při horizontální změně umístění měřicí antény o nejméně 1 m. Nasměrováním měřicí antény na měřený vysílač nebo na signál s nejlepším subjektivním hodnocením kvality signálu DVB-T se zjistí závislost intenzity na změně výšky měřicí antény v rozmezí 5 m až 10 m. Ze zjištěných hodnot se vybere maximální hodnota intenzity.

10. Údaje o měřicím bodě, datu, době a dalších podmínkách měření se spolu s naměřenými hodnotami intenzity a údaji o subjektivním hodnocení kvality přijímaných signálů zemského televizního vysílání zaznamenávají do tabulky záznamu měření.

§ 12 Měření a vyhodnocení pokrytí území pokrytého signálem zemského digitálního televizního vysílání

2. Měřicí anténa se nastavuje ve směru, ze kterého je přijímán signál zemského digitálního televizního vysílání s nejlepším subjektivním hodnocením kvality.

3. Na měřicím bodě se kontroluje na analyzátoru spektra tvar spektra přijímaného signálu. V případě, že se provádí měření měřicím přijímačem, provede se měření modulační chybovosti (MER), případně též bitové chybovosti (BER). [20]

Příloha C: Technické údaje měřicí antény a teleskopického stožáru

Parametry měřicí antény TELEVES 1044

Typ TELEVES 1044

Frekvenční rozsah 470 – 862 MHz,

Kanálový rozsah 21 – 69 kanál,

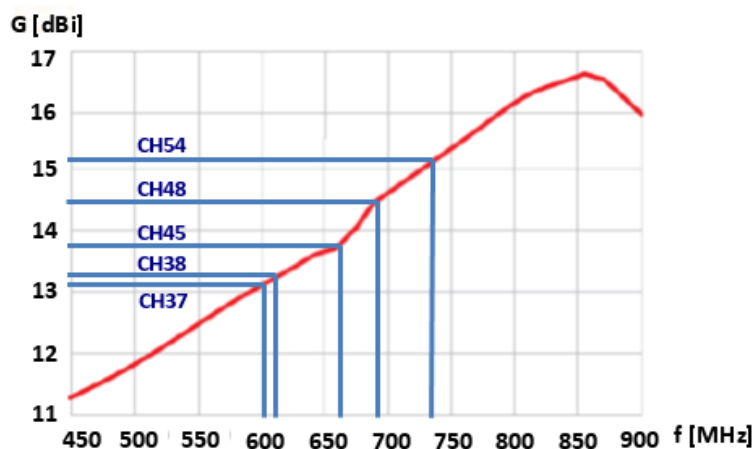
Zesílení typ. 16,5dBi / 860 MHz,

Předozadní poměr typ. 26 dB,

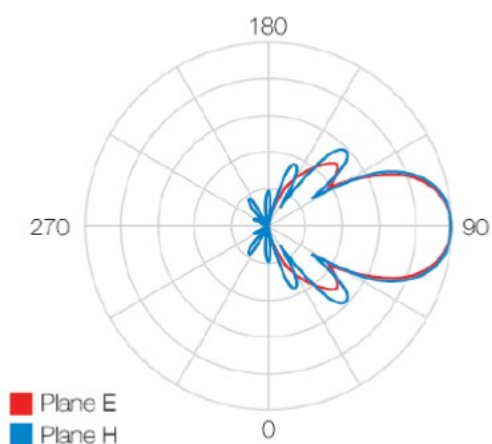
Délka 1290 mm, 43 elementů,

Větrná zátěž při 800 N/m² (130 km/h) = 106,5 N,

1100 N/m² (150 km/h) = 146,5 N.



Obr. C.1 Průběh zesílení přijímací antény



Obr. C.2 Vyzařovací diagram



Obr. C.3 Přijímací anténa TELEVES 1044

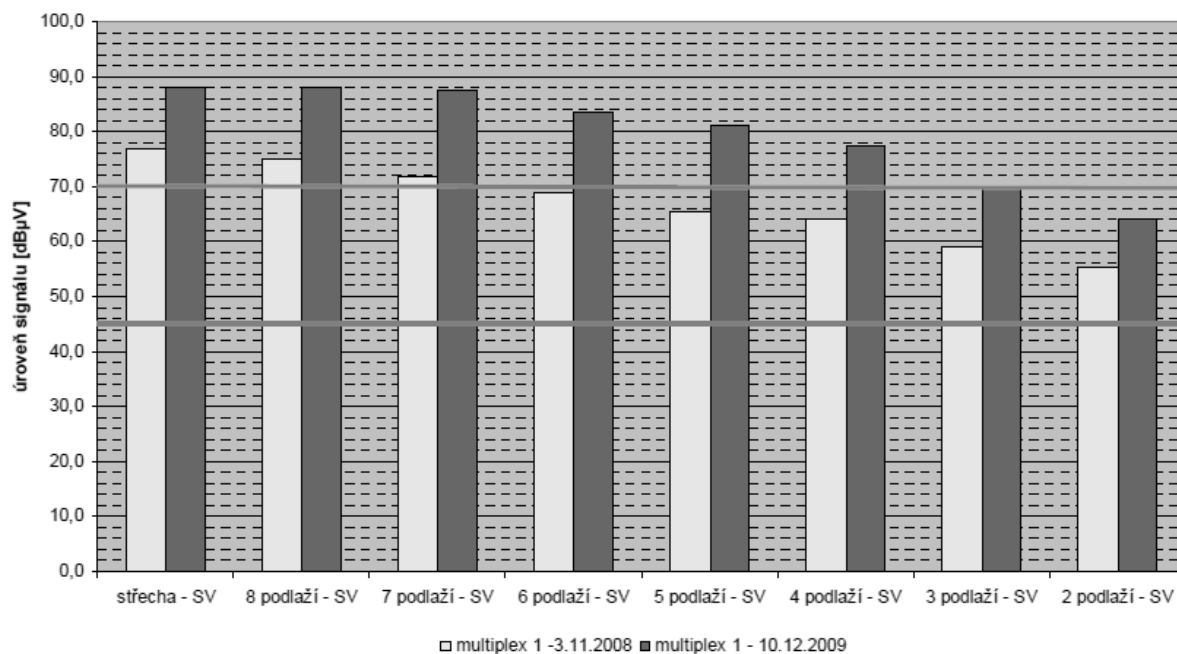
Parametry teleskopického anténního stožáru SQT 10/HP

Model	SQT 10/HP
Katalogové číslo	17921
Maximální výška v rozloženém stavu (m)	10
Výška ve složeném stavu (m)	2,18
Průměr spodního dílu (mm)	76,2
Počet dílů	6
Maximální zatížení (kg)	10
Váha (kg)	13

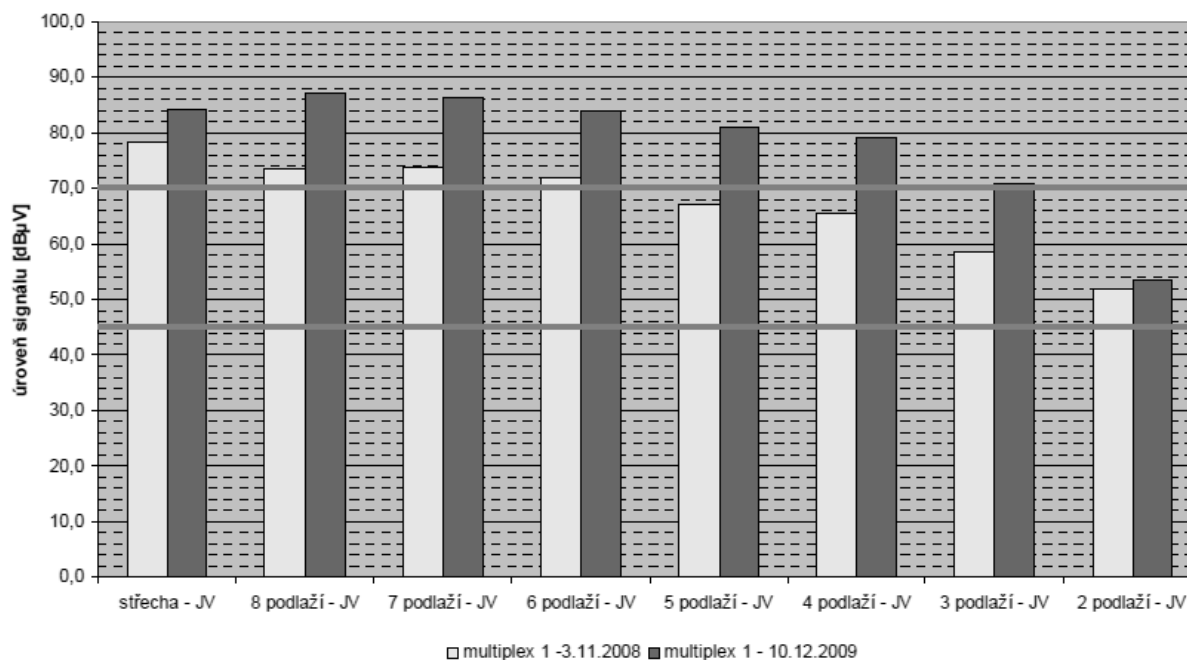


Obr. C.4 Teleskopický stožár SQT 10/HP

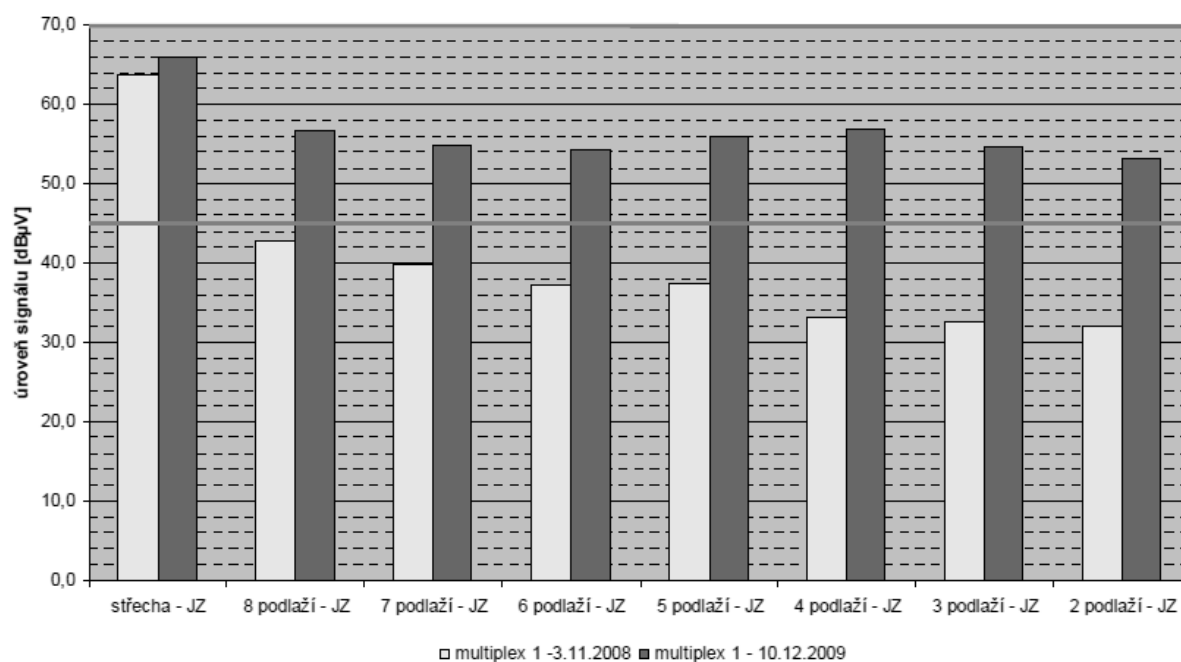
Příloha D: Naměřené hodnoty při měření úrovně DVB-T z budovy kolejí E
VŠB-TUO v roce 2008 a 2009



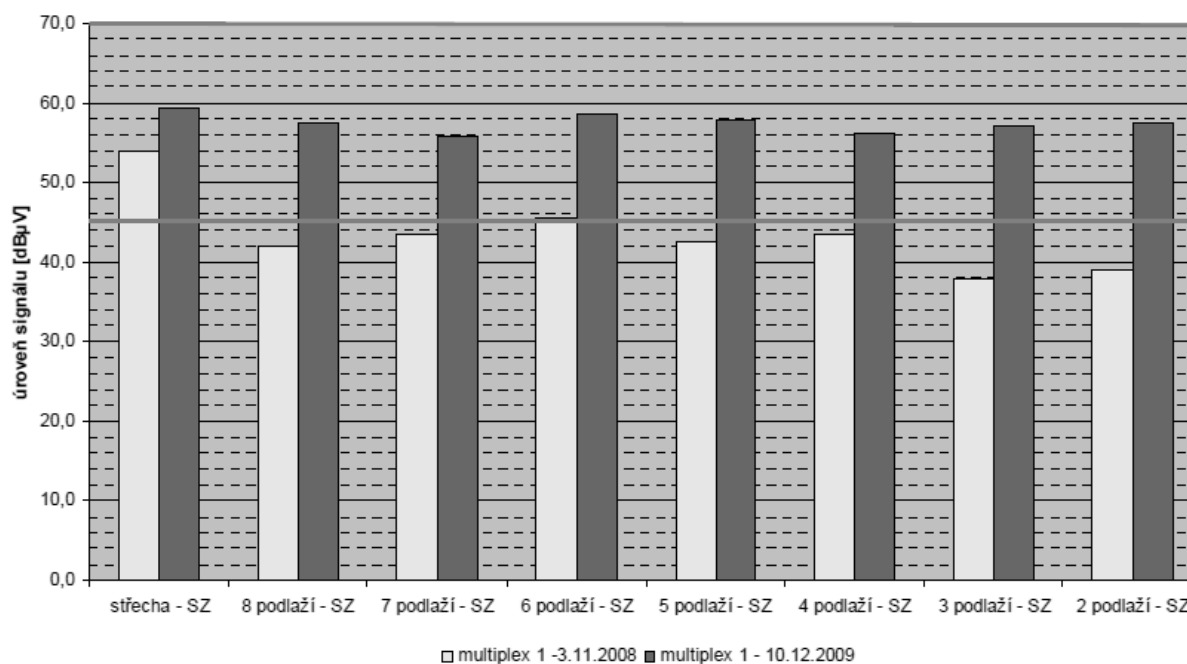
Obr. D.1 Severovýchodní strana budovy [19]



Obr. D.2 Jihovýchodní strana budovy [19]



Obr. D.3 Jihozápadní strana budovy [19]



Obr. D.4 Severozápadní strana budovy [19]

Příloha E: Fotografie z měření parametrů DVB-T



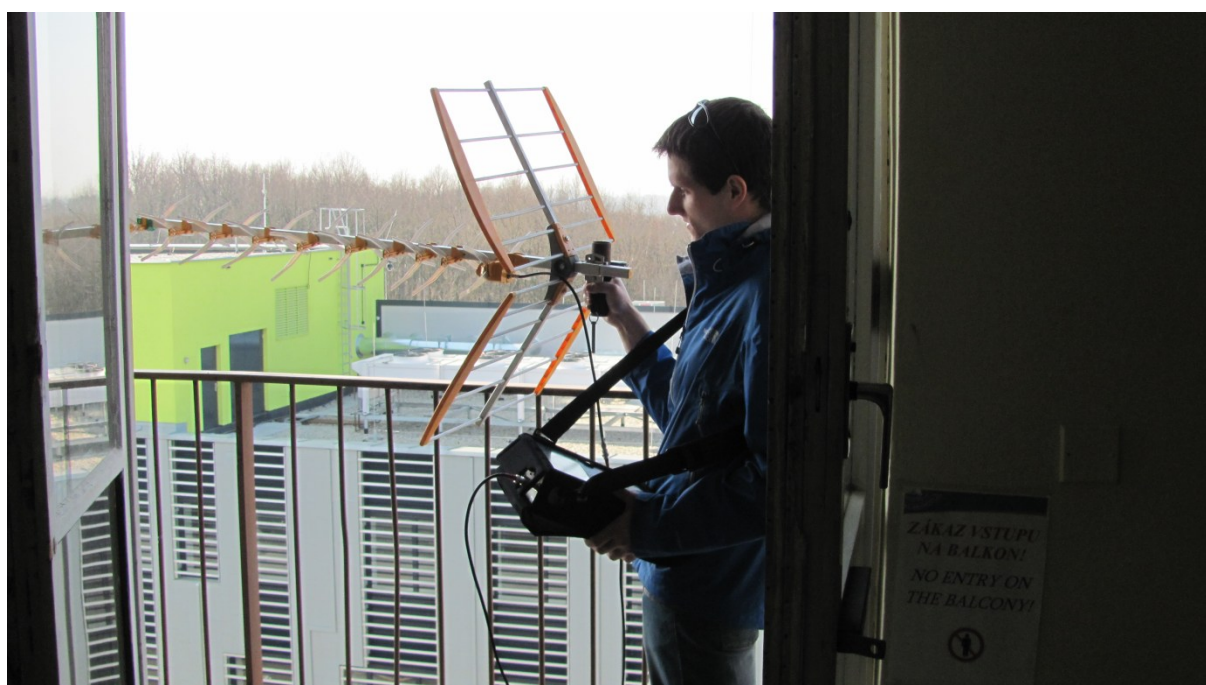
Obr. E.1 Měření parametrů signálu DVB-T Ostrava-Poruba



Obr. E.2 Měření parametrů signálu DVB-T Ostrava-Poruba



Obr. E.3 Měření parametrů signálu DVB-T Ostrava-Poruba



Obr. E.4 Měření parametrů signálu DVB-T z výškové budovy koleji



Obr. E.5 Měření parametrů signálu DVB-T Ostrava-Dubina